



universidad
de león



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**RESTAURACIÓN ECOLÓGICA FLUVIAL: EL
CASO DEL RÍO CANALIZADO DEL BERNESGA
EN LEÓN**

**ECOLOGICAL RIVER RESTORATION: THE CASE OF
THE CANALIZED BERNESGA RIVER IN LEÓN**

Autor: Carlos García Martínez

Tutor: Ana Belén Fernández Salegui

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Junio, 2023

ÍNDICE:

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes de obras y actuaciones llevadas a cabo | 4 |
| 2. OBJETIVOS..... | 5 |
| 3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO..... | 6 |
| 3.1. Zona de estudio..... | 6 |
| 3.2. Régimen hidrológico y calidad del agua | 7 |
| 3.3. Climatología | 8 |
| 3.3.1. Pisos bioclimáticos..... | 8 |
| 3.4. Edafología..... | 9 |
| 3.5. Litología local..... | 9 |
| 3.6. Usos del suelo y coberturas | 10 |
| 3.7. Vegetación actual | 10 |
| 3.8. Vegetación potencial | 12 |
| 3.9. Fauna | 13 |
| 3.9.1. Ictiofauna..... | 13 |
| 3.9.2. Avifauna | 14 |
| 3.10. Estado social y económico | 14 |
| 4. IMPACTOS..... | 15 |
| 4.1. Incisión fluvial: el caso del río Bernesga..... | 15 |
| 4.2. Impactos sobre las características hidromorfológicas | 17 |
| 4.2.1. Sobre el régimen hidrológico: caudal e hidrodinámica..... | 17 |

| | | |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2. | Variación de la anchura y profundidad del cauce | 18 |
| 4.2.3. | Sobre la estructura y sustrato del lecho | 19 |
| 4.3. | Impactos sobre la flora y la fauna..... | 20 |
| 5. | PROPUESTAS DE ACTUACIONES | 21 |
| 6. | CONCLUSIONES | 27 |
| 7. | BIBLIOGRAFÍA..... | 28 |
| 8. | ANEXOS..... | 31 |
| 8.1. | Anexo 1: Caracterización de la zona de estudio..... | 31 |
| 8.1.1. | Cálculo del índice de mediterraneidad (Im), índice térmico (It) y evapotranspiración potencial (ETP):..... | 48 |
| 8.2. | Anexo 2: Impactos..... | 50 |
| 8.3. | Anexo 3: Propuesta de actuaciones | 57 |
| 8.4. | Bibliografía de anexos | 59 |

RESUMEN

Esta memoria trata sobre la proposición de un conjunto de actuaciones que sirvan como base para la realización de un posible proyecto de restauración de un espacio fluvial, y que están dirigidas a terminar con los procesos de degradación que se han producido como efecto del desarrollo urbanístico y canalizaciones realizadas en el siglo pasado. Basándose en la dinámica natural que presentaba en el pasado y tomándolo como referencia, se aportan una serie de soluciones que permitan la auto sustentación del espacio a largo plazo, siempre teniendo en cuenta la opinión de los agentes afectados. La elección de estas medidas ha conllevado la caracterización de los principales elementos que conforman la zona fluvial mediante la recopilación de información variada, sintetizada en tablas, fotografías de la zona y mapas. Esta caracterización tiene como finalidad reconocer las principales problemáticas a enfrentar, siendo la más importante la incisión fluvial. La finalidad de las propuestas sugeridas es permitir que proyectos futuros que se realicen sobre el Bernesga dispongan de la suficiente información pertinente para conseguir una zona fluvial en sus mayores capacidades ecológicas posibles, mientras que se potencia su uso en el ámbito del ocio y la educación ambiental.

Palabras Clave: Restauración ecológica, espacio fluvial urbano, incisión fluvial, espacio de referencia.

ABSTRACT

This report deals with the proposal of a set of actions that serve as a basis for the realization of a feasible project of restoration of a fluvial space, and that are aimed at ending the processes of degradation that have occurred as an effect of urban development and channelling carried out in the last century. Based on the natural dynamics presented in the past and taking it as a reference, a series of solutions are provided that allow the self-support of space in the long term, always taking into account the opinion of the affected agents. The choice of these measures required the characterization of the main elements that make up the fluvial zone, through the collection of varied information, synthesized in tables, photographs of the area and maps.

This characterization aims to recognize the main problems to be faced, the most important being the fluvial incision. The purpose of the suggested proposals is to enable future projects on the Bernesga to have sufficient relevant information to achieve a river area at its greatest ecological capacity, while enhancing its use in the field of leisure and environmental education.

Keywords: Ecological restoration, fluvial urban space, fluvial incision, reference space.

1. INTRODUCCIÓN

El daño y destrucción de los ecosistemas producen, de forma general, una disminución en la biodiversidad, funcionamiento y resiliencia en los mismos. Esto conlleva una pérdida importante en los servicios ecosistémicos que permiten la sustentación de los sistemas socio-ecológicos (Gann *et al.*, 2019). En el caso de los ríos, han sido los ecosistemas que a lo largo de la historia más recursos ha ofrecido al ser humano, lo que ha llevado a que se realicen una gran cantidad de actividades y usos en ellos. Muchos de estos aprovechamientos han ocasionado modificaciones sobre los diferentes elementos que conforman los ecosistemas fluviales (González del Tánago y García de Jalón, 2001).

La canalización y la liberación del espacio fluvial para su uso agrario, junto con el desarrollo de los procesos de los que son dependientes el comercio, industria y los asentamientos humanos urbanizados, han provocado una degradación progresiva de los ríos y riberas. Es a mediados del siglo pasado que, de forma globalizada, comienza un proceso de regulación del régimen de los caudales a través de la construcción de presas, canales y demás estructuras (González del Tánago y García de Jalón, 2001). Se ha estimado que hasta el 50 % del total de agua que forma parte de los ríos en España se encuentra regulada por presas o embalses (Suárez & Vidal-Abarca, 2012), haciéndonos el país con más estructuras de este tipo per cápita a nivel mundial.

Entre los recursos y servicios que nos ofrecen los ecosistemas naturales fluviales encontramos el agua, el movimiento y energía que producen, la pesca como actividad deportiva y fuente de alimento, la vegetación acuática y de ribera, la fauna silvestre asociada, los sedimentos aluviales, y su valor recreativo, paisajístico, científico y cultural intrínseco (González del Tánago y García de Jalón, 2001).

Como respuesta a esta problemática de degradación nace la ecología de la restauración (ER), una disciplina técnico científica que establece las bases sobre las que se apoya la restauración ecológica (Mola *et al.*, 2018). Con anterioridad, la restauración se entendía como un ejercicio en el que el objetivo era la regresión de los ecosistemas en su discurrir histórico hacía estados más deseables, aunque esta visión está limitada por las prioridades y usos que se les dan a estos espacios en la actualidad, resultando imposible en muchas ocasiones (SER, 2004). Por esto se ha desarrollado un consenso en el ámbito técnico para la designación de una disciplina más desarrollada: la Restauración Ecológica (RE), que se entiende como el desarrollo de acciones que conllevan la reparación de un ecosistema que ha sido dañado, degradado o destruido (Gann

et al., 2019), siendo el objetivo restituir sustancialmente el ecosistema respecto a un modelo de referencia. De esta forma, se permite una mayor flexibilidad sobre los objetivos, basándose en utilizar los referentes históricos únicamente como guía y no como un objetivo a reproducir, potenciando la creación de procesos ecológicos frente a copiar la estructura anterior (Higgs *et al.*, 2014). La recuperación de estos procesos, que se dan a distintas jerarquías y escalas, debe producirse mediante el restablecimiento de los componentes y condiciones adecuadas, dotando al ecosistema de la resiliencia necesaria para abordar presiones en el futuro (Gann *et al.*, 2019). Además, los ecosistemas no siempre presentan transiciones lentas y ordenadas, sino que también pueden producirse cambios rápidos entre varios estados metaestables. Entenderlos así nos permite interpretar la RE como el esfuerzo ejercido por mover el ecosistema de su estado actual degradado hacia uno deseado, haciendo uso del conocimiento de las variables involucradas en la degradación para llevar a cabo estas transiciones (Hobbs y Norton, 1996). Estos conocimientos pueden venir dados por la experiencia, a partir de estudios científicos, o ser Conocimientos Ecológicos Tradicionales o Locales (CETs y CELs, respectivamente) (Gann *et al.*, 2019). Una parte fundamental de la RE es que tiene en cuenta las necesidades de los agentes involucrados (Gann y Lamb, 2006), permitiendo mejorar sus condiciones económicas, traer de vuelta prácticas tradicionales y desarrollar la zona en función de las aspiraciones de la población afectada.

La aplicación de estos principios de restauración sobre los complejos sistemas fluviales ha conllevado la introducción y consideración en las actuaciones de los parámetros ambientales presentes en el río y en sus riberas; cuando anteriormente se trabajaba únicamente a través de la ingeniería hidráulica (González del Tánago y García de Jalón, 2001). En este ámbito, la descripción de la restauración como el conjunto de acciones que involucra la recuperación del río hacía un estado más favorable mediante la reintroducción y soporte de procesos del río, ha sido también nombrada como “rehabilitación” por diversos autores (Brierley y Fryirs, 2005), agrupando también las actuaciones donde se produce la transformación del espacio hacia configuraciones completamente nuevas. Basándose en este principio de recuperar el funcionamiento del ecosistema fluvial bajo los que se crea la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR) en España, cobijada dentro de la Directiva Marco del Agua, en el año 2005; que busca mejorar la integración entre la gestión de los ríos con las políticas de uso y gestión del territorio, mejorar la información disponible respecto a la gestión y restauración de los ríos, aportar información de importancia en la mejora de las actuaciones que se realizan en España y favorecer la participación e implicación de los colectivos sociales, siempre bajo

criterios de sostenibilidad (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

En el caso de los ríos canalizados como el Bernesga, se han propuesto 6 etapas básicas de prioridad en la restauración de este tipo de tramos fluviales (Petersen *et al.*, 1992), que son las siguientes:

1. Establecimiento del espacio ripario
2. Disminución de las pendientes laterales del cauce
3. Revegetación del espacio
4. Recuperación de la sinuosidad del cauce
5. Formación de rápidos y remansos
6. Creación de zonas húmedas y aluviales

El conjunto de actuaciones llevadas a cabo en el tramo urbano del río Bernesga en León, que han buscado contener y controlar el régimen de avenidas del río a costa de una degradación en su estructura y funcionamiento, no ha tenido en cuenta todas las particularidades y necesidades de los sistemas fluviales (se detallan más adelante). En su expansión durante el último siglo, la ciudad de León ha producido un conjunto de impactos que han afectado a su morfología y comportamiento (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019), que siguen produciendo la degradación del sistema fluvial en conjunto. Es por esto que una restauración o rehabilitación del río es aún más necesaria si, además, se tiene en cuenta el contexto socio-cultural, ya que la degradación de un tramo de río urbano también supone la desaparición de un espacio que miles de personas han utilizado durante decenas de años. Este escenario debe impulsar una serie de actuaciones y medidas que conlleven la reinstauración de procesos y atributos; y que permitan una expresión más natural y funcional del río Bernesga, mientras que de forma simultánea siga permitiendo su uso por la población.

Teniendo esto último en cuenta, es necesario establecer sistemas de referencia que presenten características o procesos similares a la imagen final que se busca para la zona de estudio. El tramo superior de la zona de estudio presenta una imagen bastante fiel de cómo se comporta el río y sus riberas en ausencia de presiones urbanísticas, por lo que será un sistema apropiado para actuar como referente de la restauración, teniendo en cuenta su expresión en tiempos pasados (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). En cuanto a las actuaciones, se han tenido en cuenta aquellas realizadas con éxito sobre la hidromorfología y dinámica fluvial en proyectos de

restauración fluvial, como es el caso del río Guadiamar (Montes del Olmo y Carrascal Moreno, 2008), del río urbano de Manzanares (Confederación Hidrográfica del Tajo, 2023) y del río Ucero (López Argüeso *et al.*, 2017).

1.1. Antecedentes de obras y actuaciones llevadas a cabo

En el trabajo de Ferrer-Boix y Martín Vide (2019) se detalla el conjunto de actuaciones documentadas que se han realizado sobre el río Bernesga en el tramo de estudio, siendo esta la base para la cronología y descripción de las obras que se mencionan a continuación.

El primer proyecto de canalización terminó en 1911 y se basó en el arreglo de un cauce central para avenidas ordinarias de 10 m de base y 30 m en su parte superior y 1 m de profundidad, y el levantamiento de muros de gravedad de entre 1,1 y 1,5 metros de anchura a ambos márgenes, en una extensión de 666 metros entre el puente de San Marcos y el puente de Los Leones. Previamente, en 1905, se había llevado a cabo la construcción del muro del margen derecho, pero debido a la destrucción de parte del muro del margen izquierdo aguas abajo de San Marcos por una avenida producida en 1907, se han de realizar mejoras. El muro izquierdo y su terraplén asociado ocuparon parte del cauce activo en su margen izquierdo. La diferencia de la altura de muros es de 1,5 metros por encima del derecho, pudiendo deberse esta diferencia a la erosión diferencial provocada por el río. Además, se construyeron 8 pares de espigones de gaviones orientados aguas arriba, que buscaban delimitar el cauce central. La anchura entre muros era entonces de 133 metros. Más tarde, se realizó la adición de dos espigones adicionales; uno en el margen derecho aguas arriba del actual parque de Quevedo (1917), y otro ubicado entre el puente de San Marcos y el de Los Leones (1940).

Para el año 1950, la canalización iniciada en 1911 se había extendido desde el puente de Los Leones hasta una zona no conocida anterior al puente de la vía N-630 (1175 metros). Esta segunda fase presentaba una anchura entre muros de 76 metros, siendo más estrecha que aguas arriba. En el año 1956, el cauce seguía presentando una morfología trenzada (Ferrer-Boix *et al.*, 2023). También se incluyó la construcción en el margen derecho de 22 espigones perpendiculares, orientados aguas arriba. Simultáneamente, se llevó a cabo la protección de los márgenes en el tramo situado entre la vía N-630 y la confluencia del Torío, incluyéndose la construcción de un muro en la margen izquierda que da continuidad con el tramo anterior. Ambas obras se encuentran finalizadas para el año 1968.

En la década de los 70 se termina la construcción de una prolongación de 260 metros aguas arriba del encauzamiento ya existente anterior al puente de San Marcos. También se incluye la

construcción de un azud somero de gaviones con una longitud entre los pies exteriores de 100 metros, y una altura de coronación de 6,5 metros. El material acumulado se draga, en principio, cada 2 o 3 años. Otro azud con la misma sección transversal es construido aguas abajo del puente de Los Leones. En esta época se producen las segundas obras de canalización para ambos márgenes en el tramo entre este puente y el de Los Leones, manteniendo la continuidad con el tramo inferior y presentando una anchura de 76 metros, lo que supone una reducción de unos 50 metros respecto a la anchura inicial (133 metros). Actualmente se presenta esta anchura y ambas canalizaciones siguen presentes. En añadido, se comienza la construcción de una zona de paseo de 2,4 km de longitud aguas arriba del puente de San Marcos, que conlleva la colocación de muros para la protección de las márgenes.

En 1973 se realizan obras en el tramo entre la N-630 y la confluencia con el Torío, produciendo un cauce exterior e interior de 76 y 40 metros de anchura respectivamente, y 1,6 metros de profundidad y de sección trapezoidal mediante la construcción de espigones de gaviones y traviesas (o maestras), y el dragado del cauce.

Para 2002 se finalizaron las obras de canalización en los márgenes del tramo ubicado entre el puente de San Marcos y el de San Juan de Dios, que estuvieron acompañadas por la construcción de escolleras laterales para el soporte de los taludes, y por el posible relleno y alzamiento de las llanuras de inundación adyacentes.

2. OBJETIVOS

Dentro del marco teórico expuesto en los anteriores apartados, teniendo en cuenta las necesidades que presenta el sistema fluvial del Bernesga en su tramo urbano y a partir de la imagen final establecida, se determinan los siguientes objetivos parciales que se buscan cumplir con la elaboración de este trabajo:

- Realizar una caracterización completa de los elementos de importancia ecológica, que permita conocer con profundidad las particularidades de la zona de estudio.
- Analizar los principales impactos causados sobre el sistema fluvial en la zona seleccionada, así como los posibles riesgos ecológicos que conlleva el mantenimiento de su estado actual en el futuro.
- Presentar un conjunto de actuaciones basándose en la anterior caracterización que, en caso de aplicarse, puedan permitir la recuperación de procesos y configuraciones más

funcionales del río, evitando el desarrollo de los procesos de degradación que se están dando en el tramo hacia peores escenarios de conservación.

El motivo final de estos objetivos parciales es el de realizar una propuesta de mejora de las condiciones del río Bernesga en su paso por la ciudad de León.

3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Zona de estudio

La zona de estudio se centra en el río Bernesga a su paso por la ciudad de León. Se ha establecido el comienzo de la zona de estudio a la altura media del Camino de los Peregrinos (42.624265N 5.603176W, en grados decimales) y su final a unos 500 metros de la confluencia del Torío y el Bernesga (42.576109N 5.568937W), presentando una longitud de 6,16 km y un perímetro de 12,91 km. La anchura de la zona de estudio se ha definido en función de las canalizaciones que actúan como contingencia de la zona fluvial, por lo que su sección es variable, siendo 80 metros en su parte inferior, hasta los 160 metros en su mitad más urbanizada, y sobre los 300 metros en su parte superior más naturalizada. La zona se ubica entre cotas de los 808 m.s.n.m. en su zona inferior hasta los 842 m.s.n.m. en su parte superior (**Figura A.1.1**). Mediante el cálculo aproximado a través del programa informático ArcGIS Pro (Environmental Systems Research Institute, Inc., 2020), se determina una extensión es de 797.170 m² y presenta un perímetro de 12,91

Es dentro de la cuenca del Esla, un río de 290 km de longitud y que transporta 4690 hm³ hasta el río Duero, donde encontramos al río Bernesga (**Figura A.1.2**). El Bernesga presenta una longitud de 82,34 km, y una superficie en su cuenca vertiente de 1135 km². Nace en el Puerto de Pajares y desemboca en el Esla, a la altura del municipio de Vega de Infanzones. Sus afluentes principales son el río Casares, el Arroyo de Riosequín y el río Torío, que confluye con el Bernesga al sureste de la ciudad de León y es el de más importancia tributaria. Se trata de un río que, en su parte inferior, es de largo recorrido y amplias formaciones de ribera, presentándose en un fondo de valle no confinado con amplias llanuras de inundación (Cuenca Hidrográfica del Duero, sin fecha).

La zona de estudio se trata de un área urbana compuesta por zonas arboladas urbanas y parques, y está encuadrada en su cara oeste por el Paseo de Papalaginda, la Avenida de la Condesa de Sagasta y la Avenida de los Peregrinos, mientras que en el oeste lo hacen la Avenida Carrero

Blanco, la Avenida del Ingeniero Sáenz de Miera, el Paseo de Salamanca y la Calle Cronista Luis Pastrana (de aguas abajo a aguas arriba).

3.2. Régimen hidrológico y calidad del agua

La Cuenca Hidrográfica del Duero (CHD) establece 2 masas de agua en el tramo de estudio: Río Bernesga 6 y Río Bernesga 7 (aguas arriba y abajo, respectivamente), que serán referidas como tal para explicar características del río de aquí en adelante.

Los parámetros indicadores de calidad de las aguas del río Bernesga establecen un buen estado de la masa fluvial. Las condiciones de oxigenación en el agua del río Bernesga son buenas para el año 2021; presentándose una concentración de oxígeno disuelto de 10 mg/L y una tasa de saturación del 109, 1% (sobresaturación). Se da un pH de 8,2, lo que indica que no se están dando procesos de acidificación. Las concentraciones de los principales nutrientes, como lo son el fósforo, amonio, nitratos y fosfatos presentan valores muy buenos; así como las concentraciones de contaminantes ligados a los vertidos, estableciendo un potencial ecológico muy bueno para esta masa de agua (Cuenca Hidrográfica del Duero, sin fecha). Los valores de todos los parámetros que deja a disposición la CHD se reflejan en las tablas A.1.1 y A.1.2.

El río Bernesga es un río permanente, que presenta caudales a lo largo del año, que suelen variar en ciertas etapas del año. Para su parte superior ocupada por la masa de agua Bernesga 6 se presenta un módulo anual de 344,15 hm³/año (serie 1940-2017), mientras que para la masa de agua Bernesga es de 336,24 hm³/año. El mayor caudal se suele presentar entre los meses de diciembre y abril, mientras que en el periodo estival situado entre junio y octubre este se reduce bastante (**Figura A.1.3**). La variabilidad del caudal anual es muy similar para ambas masas de agua, presentando un coeficiente de variación (C_v) de 0,33-0,32, por lo que no se presentan variaciones entre años muy acusadas para el régimen anual. Los meses con un C_v más acusado son septiembre y octubre en ambas masas, con valores superiores a 0,8 (Cuenca Hidrográfica del Duero, sin fecha).

El caudal ecológico mínimo medio en la situación normal se encuentra entre 1,54-1,55 m³/s, mientras que en situación de sequía es de 0,77 m³/s; anualmente, son necesarios caudales superiores a 48,76 hm³/año en situación normal, y a 24,38 hm³/año para la situación de sequía (**Figura A.1.4**). El periodo anual en el que se presenta una mayor demanda de caudal para el mantenimiento de los hábitats se presenta entre diciembre y mayo, ambos incluidos, siendo

necesarios valores superiores a los superiores a $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, llegando a máximos superiores a $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabla A.1.3).

En el Tramo 7 (CHD) del río Bernesga se encuentran 13 puntos de desbordamiento urbanos, de los cuales 10 vierten sobre el cauce del río Bernesga, encontrándose clasificados como de tipo urbano mayor de 10000 habitantes equivalentes. No existe ningún tipo de estructura de regulación de estos vertidos; sin embargo, las presiones individuales que presentan estos vertidos se consideran como no significativas.

3.3. Climatología

Los datos climatológicos accesibles más cercanos a la zona de estudio son los recogidos en la estación meteorológica automática León/Virgen del Camino, que se encuentra a una altitud de 912 metros.

Como se puede observar en el diagrama ombrotérmico (**Figura A.1.5**), para el periodo 1981-2010 (AEMET Portal Web, sin fecha) se presenta una precipitación anual de $515 \text{ L}/\text{m}^2$, que se consideraría normal, aunque se encuentra cerca de ser escasa. La distribución anual no es constante, ya que en los meses de diciembre, octubre, noviembre, mayo y enero (ordenados de mayores a menores) las precipitaciones son superiores de $50 \text{ L}/\text{m}^2$. Durante los meses de febrero y marzo se da un marcado descenso de las precipitaciones, que termina a comienzos de la primavera. En el inicio del verano, se produce un marcado periodo de estiaje estival durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre. La temperatura media anual en León es $11,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante el periodo comprendido entre noviembre y abril se dan temperaturas medias mensuales menores a los $10 \text{ }^\circ\text{C}$, que ascienden rápidamente a partir del mes de mayo hasta julio, que presenta la mayor media mensual ($19,8 \text{ }^\circ\text{C}$) y la mayor temperatura media de las máximas mensual ($27,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Esta distribución de las temperaturas es propia de un clima mediterráneo continentalizado. El periodo de heladas seguras (Temperatura mínima media $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$) se da en los meses de enero y febrero, mientras que el periodo libre de heladas se solapa con el periodo seco. El conjunto de datos climatológicos se puede revisar en la Tabla A.1.4.

3.3.1. Pisos bioclimáticos

Se ha verificado la condición de mediterraneidad de la zona de estudio (Rivas Martínez, 1983), asegurando que existe una clara influencia climática mediterránea (Apartado de anexos 9.1.1.). La ciudad de León se encuentra dentro de la superprovincia Mediterráneo-Iberoatlántica y de la provincia Carpetano-Ibérico-leonesa (Rivas Martínez, 1987) (**Figura A.1.6**). En este sentido,

la zona de estudio se encuentra dentro del piso bioclimático Supramediterráneo, y su perfil ombroclimático dentro de la región mediterránea es de tipo seco.

3.4. Edafología

El estudio de la edafología se ha basado en el Mapa de Clase de Suelo de Castilla y León 1:400000 (Forteza Bonnín y Lorenzo Martín, 1988), con el que ha generado un mapa de suelos de la Cuenca del Bernesga (**Figura A.1.7**), y que sigue el sistema de clasificación usado en la Base de Referencia Mundial para Recursos de Suelos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015).

A escala local, el río se encuentra sobre los siguientes tipos de suelos:

- Porción superior: Asociación de Regosol dístico (RGd) + Acrisol háplico (ACh), con inclusión de Cámbisol húmico (CMu)
- Porción media: Asociación de Cambisol eútrico (CMe) + Cambisol crómico (CMx), con inclusión de Fluvisol calcárico (FLc) + Regosol eútrico (RGe)
- Porción inferior: Asociación Fluvisol calcárico (FLc) + Fluvisol eútrico (FLe) // Fluvisol dístico (FLd) + Fluvisol eútrico (FLe), con inclusión de tipo Cambisol gleyico (CMg) + Luvisol álbico (LVa).

3.5. Litología local

Atendiendo al cuadrante 13-9 de la hoja 161 del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000-MAGNA50 (Instituto Geológico y Minero de España, 1930), revisado a través del visor alojado en página del IGME, se verifican signos de gran dinamismo fluvial a escala local producidos en tiempos geológicos recientes, ya que se encuentran terrazas aluviales a distintos niveles que presentan depósitos de gravas, cantos, arenas y a veces arcillas, imbuidos en una matriz media-fina arenosa-limosa con formación en el Pleistoceno superior. Las terrazas bajas se extienden paralelamente al cauce del Bernesga a lo largo de la zona de estudio entre cotas de 830 y 850 metros. El cauce se asienta sobre material de menor granulometría de tipo gravas, arenas y limos generados recientemente en el Holoceno, debido a la propia actividad del río. Entre estas dos formaciones, en el borde oriental del cauce en la parte superior de la zona de estudio y a la altura de la Plaza de Toros (Actual León Arena), se dispone un abanico con limos, arenas, arcillas y capas de conglomerados polimícticos de mayor antigüedad (piso Aragoniense-Vallesiense) y de contacto discordante a topografías mayores. Al oeste de la zona de estudio se

encuentra la llanura de inundación, que se extiende entre 1-1,7 km de longitud entre su parte superior e inferior, y presenta rastros de antiguos pasos y meandros del Bernesga (**Figura A.1.8**).

3.6. Usos del suelo y coberturas

Para determinar los usos del suelo que se producen en los márgenes del río se ha hecho uso del Mapa SIOSE AR para el año 2017, y se ha representado las cubiertas y usos presentes a una escala local (**Figuras A.1.9 y A.1.10**).

En el tramo superior se encuentran suelos propios de un cauce poco modificado como lo son: Cultivos herbáceos, agrupaciones arbóreas de frondosas caducifolias, pastizales, matorrales. A la altura de la Avenida de los peregrinos, el río comienza a recluirse y discurre una zona contigua al curso fluvial que ocupa la gran parte del espacio, en la que se encuentra una zona verde con césped y arbolado cultivado disperso. Esta zona presenta caminos de cemento que permiten el paseo por el río, y es una tendencia que se presenta en todo su paso por la ciudad.

El río se encuentra encauzado en la mitad del tramo de estudio, entre parques urbanos con arbolado. Es al final de este segmento, en el que se realiza producción hidroeléctrica. Lo mismo ocurre en la porción inferior del tramo, en la que el curso fluvial está encauzado en el medio, con zonas verdes urbanas a ambos lados. Esta disposición se extiende hasta su unión con el Torío.

3.7. Vegetación actual

Se ha consultado la Colección de plantas vasculares del HerbarioLEB "Jaime Andrés Rodríguez" de la Facultad de Biología en la Universidad de León (de Paz Canuria y Alfaro-Saiz 2022), en la que se encuentran 37 especies distintas presentes en varios puntos del río (**Tabla A.1.4**). La gran mayoría de estas especies se encuentran clasificadas como de Preocupación menor (LC) y Datos insuficientes (DD) (IUCN, 2002), así que su estado de conservación no es de preocupación. También se revisaron los mapas de distribución del Sistema de información sobre las plantas de España Anthos (Real Jardín Botánico y CSIC-Fundación Biodiversidad, 2012), buscando conocer si su distribución abarca la zona de estudio.

En la zona de estudio se encuentran especies herbáceas propias de suelos limosos o arenosos, como el lirioamarillo (*Iris pseudacorus* (L.) Fuss) y la platanaria (*Sparganium erectum* L.) que ocupan bordes de cursos de agua, en los que a veces comparten espacio con el carrizo

(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) (**Figura A.1.11**). La arroyuela o hierba de las tripas (*Lythrum salicaria* L.) es una especie cosmopolita, que también se acompaña por carrizos. La presencia de los clavelillos de San Antonio (*Epilobium hirsutum* L.) revelan la presencia de zonas con cierto grado de alteración de la humedad edáfica o procesos de eutrofización. También hay especies arbóreas de ribera, como el fresno de hoja estrecha (*Fraxinus angustifolia* Vahl) y el aliso común (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), propio de suelos limosos y que suele estar acompañado por falso platanero (*Acer pseudoplatanus* L.). La vegetación de porte arbustivo está representada por la clemátide (*Clematis vitalba* L.), el abreganzal (*Rosa canina* L.) y la campanilla blanca (*Calystegia sepium* (L.) R. Br.), propia de riberas, con independencia del suelo (Castroviejo, 1986-2012).

Otras especies cosmopolitas o subcosmopolitas de amplia distribución como el zurrón de pastor (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), el agenicio (*Chenopodium album* L.), la persicaria (*Polygonum lapathifolium* L.), la mostaza silvestre (*Lepidium campestre* (L.) R.Br.), la aceda bravía (*Rumex crispus* L.) la anagálide acuática (*Veronica anagallis-aquatica* L.) presentes ampliamente en Europa y la península, siendo muy comunes en ambientes degradados (Gálvez, sin fecha).

También se encuentra mucha variedad dentro del género *Salix*, entre los que se incluyen al sauce blanco (*S. alba* L.), propio de suelos aluviales formados por sustratos arenosos-arcillosos, la mimbrera (*S. fragilis* L.) que crece sobre suelos con periodos de inundación, y la sarga negra (*S. trianda* L.). En las zonas con un buen drenaje se presentan el sauce cabruno (*S. caprea* L.), generalmente acompañado por árboles de buen porte. *S. eleagnos* Scop. se encuentra en puntos localizados de las orillas pedregosas del río, mientras que *S. purpurea* L. lo hace sobre gleras y arenas húmedas. En este sentido cabe destacar la presencia del híbrido entre *S. alba* y *S. fragilis*, denominado *Salix x Rubens* Schrank. Como representantes del género *Populus* encontramos al álamo negro (*P. nigra* L.) y al blanco (*P. alba* L.), formando parte de las zonas de ribera y márgenes fluviales, y que se suelen usar ornamentalmente, como árbol de sombra y de protección de riberas (**Figura A.1.12**). Su explotación maderera es muy común en estas zonas, como indica el análisis del uso del suelo. Entre los representantes de las gramíneas hallamos a especies muy comunes en la península ibérica, como la avena brava (*Avena fatua* L.), especie distribuida por todo el globo; y el *Bromus diandrus* Roth, común en ambientes ruderalizados (Castroviejo, 1986-2012).

En este sentido también se encuentra vegetación hidrófila que ocupa masas de agua con cierto grado de alteración, como *Rorippa sylvestris* subsp. *sylvestris* (L.) Besser, el berrillo (*Trifolium*

pratense L.) y la *Potentilla reptans* L., también propia de substratos arcillosos (Castroviejo, 1986-2012).

En la zona se encuentran asentadas poblaciones de especies catalogadas como alóctonas dentro de España (Sanz Elorza *et al.*, 2004) y a nivel autonómico (Sanz Elorza *et al.*, 2008), entre las que se encuentran:

- La alfalfa (*Medicago sativa* L.), una fabácea de porte herbáceo cultivada para ser forrajera, es invasora de ambientes arvenses y suele encontrarse naturalizada en taludes y márgenes de caminos.
- La higuera (*Ficus carica* L.) es una planta de porte arbóreo-arbustiva cuyas inflorescencias producen el higo. Se asilvestra fácilmente en terrenos de suelos húmedos y soleados.
- El castaño de indias (*Aesculus hippocastanum* L.) es una especie de sapindal arbórea de bajo porte, naturalizada en el norte de la península ibérica debido a su uso común como planta ornamental o de sombra. A pesar de esto, se encuentra clasificado como vulnerable (VU) en la Lista Roja de la IUCN (IUCN, 2002), debido principalmente a la fragmentación severa de su hábitat en Europa y a los minadores de *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, encontrándose su mayor presencia en países en las que ha sido introducida. Invaden espacios de escaso o nulo valor ecológico (**Figura A.1.11**).

Finalmente, no se encontró ningún taxón de la zona de estudio en la revisión de los catálogos de flora con figuras de protección a nivel autonómico y estatal.

3.8. Vegetación potencial

Siguiendo la Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España (Rivas Martínez, 1987) y basándonos en las características climáticas y las especies de flora vascular presentes en la zona y anteriormente establecidas, la vegetación presente compone bosques y altifruticedas propias de un clima Supramediterráneo inferior. La clase de vegetación presente es la *Salici purpureae-populetea nigrae* (71), que agrupa comunidades correspondientes a bosques y altifruticedas fluviales planocaducifolias, propios de cauces y sus terrazas adyacentes de suelos hidromorfos.

A través del Mapa de Cultivos y Superficies Naturales (ITACYL, 2022) se puede observar cómo, a parte de las zonas clasificadas como artificiales, encontramos diversas cubiertas en la zona de estudio. En la parte superior del tramo se presenta la mayor variedad de superficies vegetales cultivadas, siendo las de mayor ocupación choperas de *Populus x canadensis* en el borde oeste (**Figura A.1.13**). También se ha hecho uso del Mapa Forestal de España (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021), que apoya la presencia de masas

arboladas que conforman un bosque ribereño ralo, donde la especie más representativa es el álamo negro y en el que también se encuentran orlas espinosas mesófilas de rosáceas. El suelo está cubierto por pasto fino y seco, y por árboles y arbustos en un 1/3 de su superficie. En el parte inferior de la zona de estudio aparece nuevamente esta formación, pero con mayor cobertura y estructura. En toda la zona es posible distinguir ejemplares de sauces y fresnos.

3.9. Fauna

3.9.1. Ictiofauna

En el tramo urbano del Bernesga encontramos especies endémicas a la península ibérica, entre las que encontramos a la lamprehuela (*Cobitis calderoni* Bacescu), la bermejuela (*Achondrostoma arcasii* Steindachner), el gobio o cabezudo (*Gobio lozanoi* Doadrío y Madeira, 2004), el barbo común (*Luciobarbus bocagei* Steindachner), la boga del Duero (*Pseudochondrostoma duriense* Coelho) y el bordallo (*Squalius carolitertii* Doadrío) (Doadrío *et al.*, 2011).

La lamprehuela y la bermejuela no están catalogadas como especies pescables, y se encuentran clasificadas como especies vulnerables (VU) en su estado de conservación (Doadrío, 2002). Otra especie de importancia en el ámbito piscícola es la trucha (*Salmo trutta* L.), que se trata de una especie autóctona no endémica de morfología variable que, en el caso del río Bernesga, se presentan como sedentaria, y que se encuentra catalogada como VU (Doadrío, 2002). A pesar de esto, es una especie de pesca comercializable siguiendo el Real Decreto 1095/89 de 8 de septiembre (España, 1989) y el Real Decreto 1118/89 de 15 de septiembre (España, 1989), al igual que la Tenca (*Tinca tinca* L.), una especie autóctona de origen euroasiático también presente en el Bernesga (Pesca en Castilla y León, Sin fecha; Doadrío, 2002).

Tanto el carpín (*Carassius auratus* L.), una especie de muy pocas exigencias, como el salmón del Danubio o hucho, un pez fundamentalmente piscívoro (*Hucho hucho* L.), son especies exóticas aclimatadas a la península que también se presentan en la zona de estudio (Pesca en Castilla y León, Sin fecha; Doadrío, 2002). También son especies pescables debido a que compiten con las poblaciones autóctonas de peces. La especie invasora de mayor interés en las aguas del Bernesga es el lucio (*Esox lucius* L.), cuyas poblaciones se extendieron a las masas fluviales del Esla a partir del 64, en las que ha provocado un empobrecimiento de los sistemas que ocupa a causa de la depredación de especies endémicas (Pesca en Castilla y León, Sin fecha).

Cabe destacar que, para los casos de las poblaciones de lamprehuela, barbo común, boga del Duero y de bordallo, es imperativa una revisión en su clasificación del estado de conservación

debido a las condiciones desfavorables de sus poblaciones en la actualidad, reasignándose la lamprehuela a la categoría de En Peligro (E), mientras que para el resto en la de VU (Doadrío *et al.*, 2011).

3.9.2. Avifauna

En León se puede encontrar una amplia variedad de especies de aves, incluyéndose algunas muy asociadas a los sistemas fluviales del Bernesga y el Torío. Entre las aves acuáticas que han sido observadas en el tramo urbano del Bernesga se pueden destacar al azulón (*Anas platyrhynchos* L.), la garza real (*Ardea cinerea* L.), el martinete común (*Nycticorax nycticorax* L.), la garceta bueyera (*Bubulcus ibis* L.), el cormorán grande (*Phalacrocorax carbo* L.) y el martín pescador (*Alcedo atthis* L.) (Carralero, 2016).

También se presentan especies ligadas a los entornos de ribera, como son la curruca capirotada (*Sylvia atricapilla* L.), el mirlo común (*Turdus merula* L.), el petirrojo europeo (*Erithacus rubecula* L.) y el verdecillo (*Serinus serinus* L.) (Benito, 2016).

Cabe destacar que, dentro de las especies que pueden ocupar o depender de la zona de ribera del Bernesga, existen ejemplares cuyo estado de conservación se encuentra amenazado. Este sería el caso del martín pescador (EN), el porrón europeo (*Aythya ferina* L.) (EN), el buitrón (*Cisticola juncidis* Rafinesque) (NT), la gallineta común (*Gallinula chloropus* L.) (NT), la golondrina común (*Hirundo rustica* L.) (VU), el torcecuello euroasiático (*Jynx torquilla* L.) (VU) y el martinete común (NT) (López-Jiménez, 2021). La presencia de hábitats fluviales diversos de la localización del estudio ofrece unas características de gran idoneidad para la ocupación como áreas de cría o invernación para algunas especies acuáticas migratorias, que pueden encontrarse en la zona.

3.10. Estado social y económico

La ciudad de León es la capital de la provincia de León, perteneciente a la comunidad autónoma de Castilla y León, y que se dispone sobre la terraza fluvial en la que se encuentra la confluencia de los ríos Bernesga y Torío. Actúa de municipio de cabecera para las localidades de Armunia, Oteruelo de la Valdoncina y Trobajo del Cerecedo. Para el año 2022, su población era de 120951 habitantes, presentando un crecimiento vegetativo negativo desde el año 1991. Dentro de esta población, 13.691 (11,32 %) se encuentran dentro de la franja de edades de entre los 0 y 15 años, 73.195 (60,52 %) entre la de 16 y 64 años, y 34.065 (28,16 %) por encima de los 65 años (Instituto Nacional de Estadística, sin fecha).

La llegada del ferrocarril y la construcción de la estación ferroviaria en el margen este del Bernesga produce el comienzo de un proceso de desarrollo urbano en esta zona a finales del siglo XIX, que llevaría al desarrollo de un ensanche urbanístico que hoy es considerado como el centro de la Ciudad y que confluye con el casco antiguo en la plaza de Santo Domingo; hoy en día se encuentran edificios de importancia institucional como son el Ayuntamiento de León y la Subdelegación del gobierno.

Las actividades que normalmente realiza la población en las zonas adyacentes al cauce son el paseo, la circulación en bicicleta o patinete eléctrico, la observación de aves, la realización de deporte, y hasta piragüismo; sin embargo, la más destacable en el contexto de restauración es la pesca. En León se encuentran 3 tramos de pesca clasificados como aguas trucheras, siendo los ubicados en los extremos sin muerte (AAL_E-Bernesga III y AAL_E-Bernesga IV); mientras que El COTO-Ciudad de León, dispuesto entre el Puente de Villanueva de la Tercia y el Puente de la Gotera, es de modalidad mixta (Pesca en Castilla y León, Sin fecha). Es común en este tramo ver a gente pescando durante toda la semana si las condiciones lo permiten (**Figura A.1.14**). En estos tramos se establecen cupos diarios para los barbos, bogas, truchas y gobios exceptuando el caso de los meses de mayo y junio, durante los que no se permite la pesca de estas especies. El horario de pesca permitido se extiende desde una hora antes de la salida del sol hasta una hora después de su puesta. Además de las especies de peces pescables descritas con anterioridad (apartado 3.9.1), también se permite la pesca del cangrejo rojo (*Procambarus clarkii* Girard) y del cangrejo señal (*Pacifastacus leniusculus* Dana), con las que se permite el uso de cebo muerto y un número máximo de 20 reteles (Pesca en Castilla y León, Sin fecha).

4. IMPACTOS

4.1. Incisión fluvial: el caso del río Bernesga

Una de las afecciones más graves que se está dando sobre el cauce en el río Bernesga a su paso en la ciudad de León es la incisión fluvial (IF) o dinámica vertical acelerada. Éste es un proceso de encajamiento producido por la acción conjunta de la erosión lineal en el lecho y erosión remontante lateral (Orello Ojeda *et al.*, 2007), y está directamente relacionado con la aparición de desequilibrios en la hidrogeomorfología causados por cambios artificiales en el régimen de caudales por vertidos, construcción de obstáculos o cambios en los usos del suelo.

Los efectos del proceso de incisión fluvial son muy diversos, pudiendo producir de forma general una reducción de la proporción anchura/profundidad, el abandono de secciones más

diversas hacia cauces unitarios, modificaciones en la morfología de los bancos fluviales, el aumento en el transporte de sedimentos hacia aguas abajo, la exposición del lecho fluvial y la socavación de taludes, puentes, diques y otras estructuras que se encuentran en su influencia, entre otros (Bravard *et al.*, 1999).

Se ha demostrado que la principal causa del proceso de incisión en el Bernesga en su paso por León es la multitud de canalizaciones realizadas entre los años 1911 y 2009 (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). La realización de estas obras implicó también, en muchos casos, el acortamiento del río mediante la destrucción de los meandros originales. El Bernesga también ha sido víctima de sucesivos dragados de grandes volúmenes durante el último siglo; que, según técnicos de la CHD, han podido suponer junto con los extraídos en el Torío, entre el 60 y el 70 % de los áridos consumidos en la ciudad de León durante los siglos XX y XXI (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). En los casos como el de la zona de estudio, donde no se han detenido los problemas de acreción, se favorece la aceleración de la incisión ya presente, y la aparición de erosión remontante que extiende el problema aguas arriba (Orello Ojeda *et al.*, 2007). Una causa adicional del proceso de incisión en el Bernesga podría ser su término en el río Esla, en el que también se está produciendo una profundización de su lecho, arrastrando consigo al Bernesga (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). A su vez, el aporte de sólidos que transfiere el Torío también puede ser determinante en los procesos de incisión que se producen en el Bernesga.

El ratio de incisión de los depósitos aluviales del lecho para el tramo del Bernesga en León ha sido del orden de 0,16 metros/año, lo que ha producido la erosión total de los depósitos aluviales de 5 metros de grosor, que se ha reducido a 0,10 metros/año al llegar a la roca madre (Ferrer-Boix *et al.*, 2023). Las fases de canalización producidas en 1966 y 1976 son las que más efecto han producido en este sentido, provocando un descenso del lecho de 4,2 metros y 5,3 metros respectivamente. Sin embargo, este proceso se ha visto acelerado independientemente de que las actuaciones de canalización y la extracción de áridos hayan disminuido con la entrada del nuevo milenio (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019).

Medidas como las traviesas, usadas en el Bernesga para frenar el proceso de degradación, han malogrado el control de la degradación del cauce, habiéndose producido un descenso de 1 metro entre 2009 y 20017 (Ferrer-Boix *et al.*, 2023).

4.2. Impactos sobre las características hidromorfológicas

La masa Río Bernesga 7 tiene una longitud de 14,23 km y su cuenca ocupa 626, 57 km², mientras que la masa Bernesga 6 es de 5,14 km en longitud y ocupa 572,01 km² (apartado 3.2). La aportación natural y específica son de 336,24 hm³/ año y 536,63 l/m²/año, respectivamente

La masa Bernesga 7 Incluye la masa de agua del municipio de San Andrés del Rabanedo y el Barríode Pinilla, una zona de abastecimiento superficial, que realiza la captación de agua de la masa Río Bernesga 7se encuentra limitada en la confluencia con el río Torío. El análisis de los parámetros morfológicos para el año 2020 sigue los pasos establecidos por el Protocolo de Caracterización Hidromorfológica en ríos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019) de código: M-R-HMF-2019, que ha sido revisado durante la realización del trabajo para permitir una correcta identificación de las presiones ejercidas sobre el Bernesga.

4.2.1. Sobre el régimen hidrológico: caudal e hidrodinámica

En este sentido, el grado de afección presente es bajo. Dentro de los 6 indicadores de caracterización de las posibles fuentes de alteración hidrológica o ICAHs (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019) se puede destacar que en el Bernesga encontramos el caso del embalse de Casares, que se trata de un pequeño embalse de cabecera con una cuenca de aportación de 23,5 km² y 37 hm³ de capacidad, por lo que se considera que el grado de impacto causado por la regulación del caudal en el Bernesga es pequeño (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). Sin embargo, es un factor destacable si tenemos en cuenta el proceso acelerado de incisión y las sucesivas retiradas de material que se han producido de forma histórica en el Bernesga, procesos que también favorecen la interrupción de los caudales sólidos y que tienen un afecto sobre la morfología del cauce (Charlton, 2007).

En la masa Río Bernesga 7 se infieren alteraciones potenciales sobre los caudales sólidos del río debido a la sucesión de azudes durante el tramo, aunque el grado de afección se considera relativamente bajo. Esto es debido a que la capacidad de retención del caudal sólido es limitada en este tipo de estructuras; sin embargo, estos obstáculos producen, en mayor o menor medida, alteraciones sobre la dinámica fluvial. El río debe reajustarse a la nueva situación, en la que los caudales sólidos se han reducido, mediante la erosión del lecho y la disminución de la pendiente (Ballarín y Rodríguez, 2013; González del Tánago y García de Jalón, 2001), lo que conlleva el movimiento de partículas de mayor granulometría a las correspondientes. En la zona de estudio se encuentran el azud rebajado de San Marcos y el azud de aprovechamiento hidroeléctrico, a la altura del Puente de los Leones (**Figura A.2.1**) siendo el segundo el verdaderamente

problemático. Los obstáculos como los muros de canalización y las vías adyacentes presentes en los laterales de las márgenes también tienen un efecto sobre los caudales sólidos, generando la desconexión entre el río y sus vertientes de aporte (Orello Ojeda, 2011).

4.2.2. Variación de la anchura y profundidad del cauce

Las características del cauce, como son su anchura y profundidad, son variables secundarias, cuyo comportamiento es dependiente de las variables hidrológicas de primer orden, siendo el régimen de caudales sólidos y líquidos de la cuenca características determinantes en la expresión del río (González del Tánago y García de Jalón, 2001).

Uno de las afecciones principales sobre la morfología fluvial son las modificaciones del cauce que generan desvíos, cortes, canalizaciones, estrechamientos y cubiertas. Estas actuaciones, que buscan facilitar el desagüe de avenidas mediante un aumento de la capacidad hidráulica, aumentan la capacidad del río para transportar sedimentos; y si el aporte de sedimentos es inferior a la capacidad de transporte del río (por ejemplo, por la presencia de obstáculos) se puede producir la formación de cortes abruptos del perfil longitudinal, además de que el lecho y los bancos del cauce actúen como fuente de sedimentos (Harvey y Watson, 1986). Debido a esta erosión, se produce un aumento de la pendiente y una disminución de la rugosidad del lecho (González del Tánago y García de Jalón, 2001; Orello Ojeda *et al.* 2007). Este efecto de las canalizaciones ha hecho que muchos proyectos de control hidráulico y de defensa contra avenidas no hayan concluido satisfactoriamente, siendo ejemplificantes los problemas ocurridos en el propio Bernesga durante los proyectos de canalización de principios del siglo pasado. El efecto de este tipo de acciones está directamente relacionado con si se produce un cambio o no del trazado del río, siendo el tramo del Bernesga posterior a la ciudad de León un claro ejemplo; en el que, de los 8,5 metros de incisión acumulada, 4 metros son atribuibles a la contracción y acortamiento provocados por la canalización (Ferrer-Boix *et al.*, 2023). El grado de modificación del cauce por este tipo de acciones directas se evalúa mediante el cálculo de la proporción longitudinal del tramo modificado respecto al total (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019), siendo para la masa de agua Río Bernesga 7 el más alto posible. En el Bernesga, este tipo de obras de canalización han ido acompañadas de estructuras de protección o estabilización de taludes, siendo una afección recurrente en su transcurso longitudinal. Se pueden encontrar gaviones y escolleras de forma intermitente por todo el área de estudio (**Figura A.2.2**), ocupando un alto porcentaje de la superficie de las márgenes. Sin embargo, las escolleras son preferibles a otras estructuras más “duras” e impermeables, ya que permiten el asentamiento de las comunidades vegetales de ribera,

permitiendo una estabilización natural (González del Tánago y García de Jalón, 2001); es por esto que, dentro de las opciones posibles, se presenta un grado de afección bajo a la impermeabilidad del río debido a estas estructuras. No obstante, en prácticamente toda la extensión del río se presentan problemas de impermeabilidad debido a los sucesivos muros de hormigón que se han dispuesto para canalizar el Bernesga de forma histórica (**Figura A.2.3**), que impiden la ocupación y toma de sedimentos en áreas que antes formaban parte activa del cauce (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). En la mitad inferior de la zona de estudio se distinguen diques y escolleras situados a escasos metros del cauce (**Figura A.2.4** y **Figura A.2.5**) cuya finalidad no es la de defender contra la erosión, sino contener los caudales de crecida (Ballarín y Rodríguez, 2013). Es sobre estos diques sobre los que se dispone el talud que soporta la zona de paseo del río (**Figura A.2.6**). Aguas arriba, la masa Bernesga 6 no sufre con la magnitud estos impactos, pero si es más sensible a las obras de protección.

4.2.3. Sobre la estructura y sustrato del lecho

Actualmente, la presencia del azud de la central hidroeléctrica en la masa Río Bernesga 7 está provocado la formación de superficies remansadas, cosa que no ocurre aguas arriba en la masa Río Bernesga 6. La zona de remanso generada por este azud está alterando completamente la expresión hidrológica del río en ambas direcciones (**Figura A.2.1** y **Figura A.2.6**). El análisis del transporte de sedimentos del tramo que se extiende entre los Puentes de San Marcos y el de Los Leones ha establecido que el azud de la central hidroeléctrica produce una reducción de la tensión de fondo, disminuyendo la capacidad de transporte en ese tramo y limitando el suministro de sólidos a tramos inferiores (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). Las superficies remansadas también se producen como efecto de las 14 traviesas, que se encuentran repartidas en la parte inferior de la zona de estudio (**Figura A.2.5**, **Figura A.2.7** y **Figura A.2.8**), así como por la influencia de su baja pendiente en el perfil longitudinal.

Se ha determinado también que, debido a las sucesivas canalizaciones y a la extracción aproximada de una cantidad de 441000 m³ de sedimentos del cauce, el proceso de incisión ha ocasionado que los depósitos aluviales sobre los que se asentaba el río estén prácticamente agotados, haciendo gran parte del lecho del Bernesga se asiente sobre una base de materiales terciarios (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019) (**Figura A.2.9** y **Figura A.2.10**), descritos con anterioridad en el la **Figura A.1.8**.

4.3. Impactos sobre la flora y la fauna

Las orillas en el Bernesga presentan una relación pequeña entre la orilla y el cauce debido a los efectos de la canalización, lo que conlleva la expresión de una comunidad vegetal ripícola menos diversa. La gran pendiente que se ha producido en las orillas es también un factor a tener en cuenta, puesto que la ocupación de esta franja por especies arbóreas de gran altura en el sustrato poco consolidado de las orillas está produciendo en muchas zonas procesos de deslizamiento muy evidentes, encontrándose frecuentemente árboles inclinados o directamente caídos en torno a las márgenes, donde además se producen procesos de erosión (**Figura A.2.11** y **Figura A.2.12**). La vegetación riparia también sufre una limitación de su expresión transversal debido a la ocupación del espacio por los taludes laterales y la zona de paseo, cortándose su desarrollo de forma abrupta y constante a lo largo de la zona de estudio (**Figura A.2.13**), aunque esto no es así para todo el espacio. La zona aguas arriba del puente de San Marcos presenta, como se puede ver en la **figura A.2.14**, vegetación mucho más desarrollada sobre una ribera de menor pendiente.

Es destacable también la consecuente pérdida de diversidad en la fauna de la zona como producto de la propia falta de variedad en la vegetación de la ribera, que puede afectar a la ocupación de espacios de las poblaciones de aves y peces. La degradación del espacio ribereño tiene efectos negativos sobre las poblaciones piscícolas, conllevando la pérdida de espacios de refugio, acondicionamiento, desove y alimento (González del Tánago y García de Jalón, 2001). La disposición de remansos y rápidos dentro del cauce es también de gran importancia en la diversidad de hábitats y especies de peces que podemos encontrarnos en una zona (González del Tánago y García de Jalón, 2001). En la zona de estudio se pueden encontrar 2 azudes y 14 traviesas. El azud rebajado de San Marcos no supone demasiada problemática (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019), no pudiendo decirse lo mismo para el azud de la central hidroeléctrica, lo cual ha llevado a la construcción de una escala de estanques sucesivos que, sin embargo, se encuentra cubierta por una reja en la parte superior de cada vaso, impidiendo a los peces saltar entre ellos y muchas veces atrapándolos. Otro problema de esta escala es evidente durante las épocas de caudales mínimos, durante las cuales su base no se encuentra conectada con el río, interrumpiendo el paso a través del azud durante un tiempo prolongado. Otra de las presiones más significativas para las poblaciones autóctonas es la depredación por especies exóticas invasoras como el lucio, aunque hoy en día muchas de sus poblaciones se mantienen bajo control, incluso en aguas trucheras (Doadrío *et al.*, 2011) como las del Bernesga.

5. PROPUESTAS DE ACTUACIONES

A continuación, se proponen un conjunto de actuaciones que buscan abordar la degradación que se está produciendo en el río Bernesga y traer de vuelta procesos del ecosistema fluvial. Estas actuaciones se fundamentan, principalmente, sobre en un conjunto de obras que, de realizarse, tendrían como objetivo la remodelación del tramo de estudio hacia formas más naturales y que permitan la propia expresión del río. Entre estas encontramos:

- A.1: Remodelación de la orillas y riberas, estableciendo una menor pendiente en el terreno presente entre el cauce del río y los muros de canalización. Esta actuación implicaría la ampliación de los cauces, además de la reducción de la pendiente de los taludes laterales en orilla a menos del 30 % y la eliminación de sus marcadas cabeceras, teniendo como objetivo producir una zona de ribera con una estructura más natural y el aumento de la anchura aluvial (González del Tánago y García de Jalón, 2001; Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). Esta medida se podría ejercer aumentando el espacio hasta el muro de canalización, o implicar a las vías de comunicación y parques urbanos que se encuentran dispuestos paralelamente, estableciendo un nivel más bajo para las vías adyacentes a la zona de estudio como ocurre en las partes superiores del tramo, en las que existe una mayor continuidad transversal con una menor inclinación de los taludes laterales. La realización de esta actuación implicaría la eliminación de la gran parte de la vegetación presente actualmente; sin embargo, mucha de esta materia vegetal puede tener utilidad en otras fases del proyecto que se describen más adelante.
- A.2: Reforma del cauce con un aumento de la sinuosidad, lográndose la creación de zonas con remansos y rápidos. Se debe aumentar el perímetro de contacto cauce ribera, y se deberá intentar seguir el trazado con el que se expresaba originalmente mediante la observación de imágenes aéreas históricas. Es necesaria la generación de zonas heterogéneas que fomenten la creación de islas y barras. Esto se lograría mediante la disposición de estructuras transversales separadas en secciones simétricas y asimétricas que favorecerían la formación de meandros (González del Tánago y García de Jalón, 2001). También sería de importancia marcar zonas laterales con canalizaciones estrechas que, junto a las crecidas del río, acaben actuando como aliviaderos cuando el caudal aumente.
- A.3: Remodelación de las escolleras y muros de gaviones presentes en la actualidad, ajustándose a las nuevas características de pendiente en las orillas y de la forma del cauce. Estas estructuras tendrían como objetivo evitar la erosión más acusada que se da en la margen exterior de las nuevas curvas que presentaría el cauce, además de proteger las

estructuras vulnerables a la erosión en su fundación, como los son los puentes presentes principalmente en el tramo inferior (Martín-Vide, 2015), representados en la **figura A.2.8**. Estas deberán ser estructuras permeables al paso de agua al suelo, que permitan la recolonización del terreno por primocolonizadoras y con un diseño adaptado a las condiciones y forma del cauce (González del Tánago y García de Jalón, 2001). Parte de estas escolleras y muros podrían estar contruidos, de forma mixta, en base a la vegetación extraída durante la remodelación, facilitando así la ocupación de la vegetación autóctona (Montes del Olmo y Carrascal Moreno, 2008). En esta actuación también sería posible la incorporación de hidrotecnias, estructuras formadas por rocas y materia vegetal con la función de generar zonas heterogéneas formadoras de distintos hábitats, cuya inclusión fue bastante exitosa en la restauración fluvial del río Manzanares (Confederación Hidrográfica del Tajo, 2023). Esta fase se realizaría de forma posterior a las actuaciones A.2 y A.3, ya que sería necesario monitorear durante un tiempo el comportamiento del río frente a los cambios producidos; y no se realizarían a lo largo de la zona de estudio, si no que abarcarían la porción del tramo aguas abajo del puente de San Marcos, zona donde también se realizarán las anteriores fases.

En adición, se plantea la eliminación de las 14 traviesas (**B.1**) presentes en la porción media y baja de la zona de estudio, con el objetivo de reducir el efecto de la compartimentación que se da sobre el tramo fluvial. Esta actuación se realizará durante la fase de remodelado (A.1-A.3), y buscaría eliminar las limitaciones sobre el movimiento de la ictiofauna, eliminar las zonas con aguas remansadas aguas arriba de estas estructuras y terminar con los procesos irregulares de erosión. En el caso del azud de la central hidroeléctrica cuya altura y localización dificultaría su derribo, se podría llevar a cabo una obra de adecuación similar a la ya realizada en el azud del Puente de San Marcos (**B.2**), que supuso la reducción de más de 2 metros en su elevación (Cachafeiro, 2013); aunque también sería de gran importancia realizar estudios hidrológicos que determinarían, previamente, los posibles límites en la profundidad y alcance de la actuación, ya que implicaría cambios sobre la dinámica que podrían afectar a los fundamentos del puente de Los Leones y otras estructuras cercanas. En el caso del azud de San Marcos, la reducción supuso una recuperación de algunos de los procesos de transporte y depósito de sedimentos, que habían desaparecido con el establecimiento de esta estructura (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). Los escombros que produciría esta actuación serían de utilidad también para el relleno durante la remodelación de los taludes mencionada anteriormente, siendo pertinente la retirada del material sobrante o inútil a un vertedero cercano.

La reforma del azud de la central hidroeléctrica supondría una oportunidad única para la reconstrucción de una escala de peces (B.3) que, con una menor diferencia de nivel, tendría un diseño más amable para las poblaciones piscícolas de la zona de estudio. Esta tendría que presentar una inclinación menor a la actual, ya sea mediante el alargamiento de esta estructura en la longitud del tramo, o mediante la introducción de codos que permitiesen que la estructura fuese más compacta sin conllevar un aumento en la pendiente. También sería imperativo que se presentase descubierta y no enrejada como la que se encuentra en la actualidad (López Argüeso *et al.*, 2017).

Estas actuaciones de remodelación se deberían realizar en las épocas del año con menor caudal, que en el Bernesga coincide con el periodo situado entre julio y octubre (**Figura A.1.3**); sin embargo, a causa del régimen anual de caudales permanente que presenta el Bernesga, se deben tomar medidas durante las fases de obra, evitando depositar materiales sobre el cauce o la zona proyectada donde discurriría el río en ese momento. Es también pertinente, el rescate y transferencia a zonas superiores de la ictiofauna, principalmente en las secciones medias y bajas del tramo, evitando así la desaparición de las poblaciones de peces del río (C.1). Esta actividad deberá realizarse de forma previa al comienzo de las primeras fases de remodelación y se ha demostrado posible para muchas de las especies presentes en la zona (Magdaleno, 2017). También se debería hacer uso, dentro de la medida de lo posible, de material perteneciente a sistemas fluviales cercanos, que podrían ser el Torío o zonas aguas arriba del mismo tramo del Bernesga. Esto es de importancia, puesto que el efecto ya provocado por la incisión fluvial y las actuaciones realizadas durante el último siglo han dejado desprovisto de material aluvial al suelo circundante al cauce (Ferrer-Boix y Martín Vide, 2019). Sin embargo, en la parte superior del tramo de estudio se puede observar que el lecho sí que presenta material aluvial debido a una menor intensidad del proceso de incisión y un mayor grado de dinamismo. En este mismo hilo se puede plantear el establecimiento del lecho fluvial que ahora se encuentra erosionado en las partes medias y bajas del tramo; conllevaría la recogida de material fluvial en la parte superior donde se encuentra en más abundancia (D.1), la instalación en las áreas más erosionadas de diques transversales en el lecho del río (D.2) y, por último, el depósito de este material en las zonas donde se produce la mayor erosión (D.3). Además de suponer un aporte necesario de material al lecho erosionado en el tramo inferior, también es una actuación que es beneficiosa para la ictiofauna, puesto que supondría una mejora en la viabilidad de los procesos biológicos que las poblaciones de peces realizan en el río, estableciendo buenas zonas de

alimentación, zonas de refugio y zonas de freza, actividades dependientes de un buen sustrato (Confederación Hidrográfica del Tajo, 2023).

Muchas de las anteriores actuaciones conllevan la destrucción de las comunidades vegetales de ribera, por lo que también serán imperativas actuaciones posteriores de acondicionamiento del nuevo espacio ripario, entre las que se hallarían:

- E.1: Escarificado del suelo posterior a las grandes obras de remodelación sobre las superficies que han sufrido compactación.
- E.2: Colocación y anclaje de mantas orgánicas/geotextiles sobre las superficies de nueva pendiente, desde la orilla hasta la cabecera de las superficies con pendiente.
- E.3: Estaquillado con tallos y ramas de las plantas, recogidos en la zona durante la fase de remodelación.

Estas actuaciones son muy comunes en el ámbito de la restauración fluvial, y facilitan los procesos de ocupación por las comunidades vegetales locales. Se realizarían únicamente en las zonas de ribera y orillas en las que se ha llevado a cabo las fases de remodelación previas durante los meses de abril y mayo, siendo las heladas poco probables durante este periodo. De las especies arbóreas presentes en la zona, las especies de sauces, frenos y chopos serían las más adecuadas para realizar los estaquillados

Posteriormente, será necesaria la implementación de una serie de medidas de monitoreo que permitan un correcto desarrollo de las actuaciones hasta los objetivos establecidos. Entre ellas encontramos:

- F.1: Mantenimiento y monitoreo del estado hidromorfológico.
- F.2: Observación y mantenimiento de las estructuras de protección.
- F.3: Seguimiento de las poblaciones piscícolas y evaluación de la efectividad de la escala para peces.

La primera de estas medidas se encuentra encaminada a asegurar el correcto progreso de las actuaciones de importancia sobre la morfología, además de permitir la introducción de cambios en las posteriores actuaciones si fuese necesario durante los diferentes estadios de la restauración. Es por esto que esta fase se presenta de forma recurrente después de las obras de remodelación y cubiertas, y conllevaría la realización de visitas a la zona en las que se llevarían a cabo evaluaciones topo-batimétricas y la realización de informes sobre el desarrollo de la

morfología del río (Confederación Hidrográfica del Tajo, 2023). Una vez llevada a cabo el monitoreo de las fases A.1 y A.2, se dispondría de suficiente información como para realizar la fase A.3. Posteriormente, también se realizarían evaluaciones sobre la tolerancia de las nuevas estructuras de protección establecidas que, debido al aumento de la sinuosidad y la actividad fluvial, podrían quedar expuestas o debilitadas por la migración de los meandros reformados. El seguimiento de las poblaciones de peces presentes en la zona es también de importancia, y se tendrían que realizar una serie de muestreos que siguieran los protocolos oficiales que permitiesen la evaluación de la calidad de la fauna, posteriormente a la realización de las principales fases de remodelación, y durante los años posteriores al finalizado del proyecto. Durante este seguimiento sería factible y recomendable la evaluación de la efectividad y permeabilidad de la nueva escala de peces, tanto en periodos de caudal abundante como durante las épocas de estiaje (Confederación Hidrográfica del Tajo, 2023).

También es de gran importancia la reincorporación de las condiciones que permiten el uso recreacional y actividades que se realizan actualmente en el río Bernesga. Para lograr esto, una vez terminadas las anteriores fases, se proponen las siguientes actuaciones:

- G.1: Reconstrucción de la zona de paseo afectada, incluyendo las vías para paseo y la cicloavía.
- G.2: Restablecimiento de zonas de acceso con escaleras al cauce fluvial. En el caso de que se respete el trazado urbano actual, las escaleras deberán estar, dentro de lo posible, en el mismo lugar en las que se presentan ahora.
- G.3: Adición de nuevas entradas en las partes media y baja del río, ofreciendo un aspecto más continuo entre las vías de comunicación fuera de la canalización y el espacio intramuros.

En este mismo hilo, también se establecen una serie de actuaciones encaminadas a producir nuevos usos en el espacio fluvial, que permitan la concienciación y educación de los distintos grupos sociales de usuarios:

- H.1: Reconversión de la central hidroeléctrica a centro de interpretación.
- H.2: Establecimiento de miradores de aves.
- H.3: Colocación de paneles informativos.

Con la pérdida de funcionalidad que supondría el derribo del azud del Puente de los Leones, un nuevo aprovechamiento de estas instalaciones conllevaría la conversión hacia una

infraestructura donde se pudiesen llevar a cabo jornadas de educación ambiental sobre el río Bernesga y sus alrededores. De esta forma, y mediante la realización de una gran variedad de posibles actividades en el centro, se lograría fomentar la participación social e introducir a los participantes a temas de importancia ambiental, como son la conservación del entorno cercano, la sostenibilidad en ambientes urbanos y las actividades respetuosas con el medio que son posibles realizar en el río Bernesga. Esto supone una oportunidad única para incluir a las generaciones presentes y futuras en la gestión y cuidado de la zona de estudio; además, se trata de una infraestructura céntrica y de gran accesibilidad, siendo idónea para cumplir estos cometidos.

Por último, se buscará informar extensamente a la población de León y sus alrededores sobre la naturaleza y objetivos del proyecto. También se realizará una campaña informativa, que tiene como objetivo obtener feedback y opiniones respecto a los objetivos de la restauración, tanto de forma previa, como durante y de forma posterior a la realización de las fases de obra de importancia. En este tipo de actuaciones se incluirían:

- I.1: Charlas informativas
- I.2: Actividades y talleres educativos en los márgenes del río, en los que se trataría temáticas relacionadas con las restauraciones y cuidado de los espacios fluviales y riberas
- I.3: Encuestas de opinión y satisfacción, previas y posteriores a las principales obras del proyecto.

La cronología de las actuaciones puede revisarse en la figura **Tabla A.3.1**, en la que se detalla de forma aproximada (por meses) los periodos de actuación. Algunas de las actuaciones podrían cambiar el momento de realización en función de la información que aporte el monitoreo de los distintos componentes.

Las diferentes zonas de actuación se han reflejado en el mapa de la **Figura A.3.1**. En esta figura se han representado las actuaciones cuyo emplazamiento es seguro; la determinación de las zonas donde se realizarían el resto de propuestas sería dependiente de la administración que llevase a cabo el proyecto, otorgando así cierto grado de flexibilidad.

6. CONCLUSIONES

La realización de este trabajo ha posibilitado alcanzar las siguientes conclusiones en relación con el desarrollo de sus principales apartados:

Conclusión 1: La caracterización de la zona realizada en esta memoria ha permitido establecer cómo es el funcionamiento del río como sistema fluvial, dentro de las contingencias urbanas, a partir del análisis de sus principales componentes y agentes modeladores. Este paso ha sido fundamental para el reconocimiento del estado en el que se encuentra actualmente el Bernesga en su tramo urbano.

Conclusión 2: Se han analizado los principales impactos causados sobre la zona de estudio, teniendo en cuenta las posibles repercusiones y los riesgos que supone el mantenimiento de las condiciones actuales en el futuro. La principal causa de degradación es el proceso de incisión fluvial, que se encuentra relacionado tanto con las obras realizadas a escala local de forma histórica, como con el control hidráulico de las cuencas vertientes del Bernesga y el Esla fuera de la zona de estudio.

Conclusión 3: La caracterización de los elementos principales, junto a la identificación de los impactos presentes en la actualidad, ha permitido realizar la propuesta de una serie de actuaciones enfocadas, principalmente, a detener y revertir el proceso de incisión fluvial. Estas propuestas, de llevarse a cabo, atajarían individualmente las problemáticas presentes actualmente en la zona, además de posibilitar al propio río adquirir procesos y funciones que permitan su sustentación y desarrollo hacia una expresión más natural. También se han realizado propuestas dirigidas hacia los usuarios del río, permitiendo así la participación ciudadana y la incorporación de nuevos usos recreativos y educativos.

Conclusión 4: Finalmente cabe destacar que, en el caso que se presenta en el río Bernesga, la mejora de las condiciones actuales es muy dependiente de las condiciones de la cuenca vertiente en general y no únicamente del tramo de estudio. Es pertinente estudiar en mayor profundidad los procesos de degradación presentes, principalmente el de incisión, a una escala que abarque la totalidad de las cuencas del río Bernesga y Esla. Para esto es necesario una investigación más profunda de los regímenes de caudales sólidos y líquidos, y del efecto que causan las estructuras de retención en las aguas superiores e inferiores al tramo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AEMET Portal Web (Sin fecha) *Valores climatológicos normales. León, Virgen del Camino*. Disponible en: <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=2661&k=cle> (Accedido: 20 de marzo de 2023).
- Ballarín, D. y Rodríguez, I. (2013) *Hidromorfología fluvial: algunos apuntes aplicados a la restauración de ríos en la cuenca del Duero*. Valladolid: Confederación Hidrográfica del Duero. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282074996_Hidromorfologia_fluvial_algunos_apuntes_aplicados_a_la_restauracion_de_rios_en_la_cuenca_del_Duero (Accedido: 28 de mayo de 2023).
- Benito, A. (2014) *León: aves urbanas*. Disponible en: <http://pajareandoporcantabria.blogspot.com/2014/07/leon-aves-urbanas.html> (Acceso: 17 de junio de 2023).
- Bravard, J.P., Kondolf, G.M., y Piégay, H. (1999) "Environmental and societal effects of channel incision and remedial strategies", en Darby, S. y Simon, A. (eds.) *Incised River Channels: Processes, Forms, Engineering, and Management*. Chichester: John Wiley and Sons, pp. 304-341. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/284482675_Environmental_and_societal_effects_of_channel_incision_and_remedial_strategies_in_darby (Accedido: 8 de junio de 2023).
- Brierley, G. y Fryirs, K., (2005) "Introduction", en Brierley, G. y Fryirs, K., (eds.) *Geomorphology and River Management, Applications of the River Styles Framework*. Oxford: Blackwell Science Ltd, pp. 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9780470751367.ch1> (Accedido: 12 de marzo de 2023).
- Cachafeiro, M. (2013) "Adiós al azud del Bernesga", *Diario de León*. Disponible en: <https://www.diariodeleon.es/articulo/leon/adios-al-azud-del-bernesga/201308280600001372358.html> (Accedido: 15 de junio de 2023).
- Carralero, C. (2016) *Las aves del río Bernesga*. Disponible en: <http://cristinacarralero.blogspot.com/2016/08/desde-mi-ventana.html> (Acceso: 17 de junio de 2023).
- Castroviejo, S. (1986-2012). *Flora ibérica*, 1-8, 10-15, 17-18 y 21. Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC.
- Charlton, R. (2007) *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. 1.ª ed. USA, Canadá: Rosemary Charlton.
- Confederación Hidrográfica del Tajo (2023) *Restauración Fluvial del Río Manzanares en el entorno del Real Sitio de El Pardo (Madrid)*. Disponible en: <https://restauracionfluvialriomanzanares.es> (Accedido: 15 de mayo de 2023).
- Cuenca Hidrográfica del Duero (Sin fecha) *Ficha general, 1800025 - Río Bernesga*. Disponible en: <https://mirame.chduero.es/chduero/public/naturalElements/river/search/general/1800025> (Accedido: 21 de mayo de 2023).
- De Paz Canuria, E. y Alfaro-Saiz, E. (2022) Colección de plantas vasculares del Herbario "Jaime Andrés Rodríguez". LEB. Herbarium "Jaime Andrés Rodríguez". Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León. Disponible en: <https://www.gbif.es/coleccion/herbario-leb-jaime-andres-rodriguez-leb/> (Accedido: 24 de mayo de 2023).
- Doadrio, I (ed.) (2002) *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España*. Madrid: Dirección General de la Conservación de la Naturaleza y Museo Nacional de Ciencias Naturales. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/atlas_libro_rojo_peces_tcm30-98786.pdf (Accedido en 7 de Junio de 2023).
- Doadrio, I., Perea, S., Garzón-Heydt, P. y González, J.L. (2011) *Ictiofauna continental española. Bases para su seguimiento*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/2011_doadrio_et_al_seguimiento_ictiofauna_iberica_opt_tcm30-544759.pdf (Accedido: 3 de Mayo de 2023).
- España (1989) "Real Decreto 1095/1989, de 8 de septiembre, por el que se declaran las especies objeto de caza y pesca y se establecen normas para su protección" *Boletín Oficial del Estado, de 12 de septiembre de 1989*, (224), pp. 28819-28821.
- España (1989) "Real Decreto 1118/1989, de 15 de septiembre, por el que se determinan las especies objeto de caza y de pesca comercializables y se dictan normas al respecto" *Boletín Oficial del Estado, de 19 de septiembre de 1989*, (224), pp. 29453-29454.
- Ferrer-Boix, C. y Martín Vide, J.P. (2019) "Estudio morfodinámico del río Bernesga en el tramo comprendido entre la confluencia con el arroyo Valdeposadas y su desembocadura en el río Esla en la provincia de León" *Report de investigación*. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/372470> (Accedido: 18 de marzo de 2023).
- Ferrer-Boix, C., Scorpio, V., Martín-Vide, J.P., Núñez-González, F. y Mora, D. (2023) "Massive incision and outcropping of bedrock in a former braided river attributed to mining and training" *Geomorphology*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108774> (Accedido: 10 de junio de 2023).
- Gálvez, F. (Sin fecha) *Flora Vascular*. Disponible en: <https://www.floravascular.com/index.php> (Accedido en: 25 de mayo de 2023).

- Gann, G.D. y Lamb, D. (2006) *La restauración ecológica: un medio para conservar la biodiversidad y mantener los medios de vida* (versión 1.1). Tucson: Society for Ecological Restoration (SER) International, y Suiza: IUCN. Disponible en: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/Globa_l_Rationale_Spanish.pdf (Accedido: 11 de mayo de 2023).
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. y Dixon, K.W. (2019) “International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition”, *Restoration Ecology*, 27, S1-S46.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. (2001) *Restauración de ríos y riberas*. Madrid: Coedición Fundación conde del Valle Salazar y Ediciones Mundi-Prensa.
- Harvey, M. y Watson, C. (1986) “Fluvial Processes and Morphological Thresholds in Incised Channel Restoration”, *Water Resources Bulletin*, 22, pp. 359-368.
- Higgs, E., Falk, D., Guerrini, A., Hall, M., Harris, J., Hobbs, R., Jackson, S., Rhemtulla, J. y Throop, W. (2014) “The changing role of history in restoration ecology”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 12, pp. 499-506.
- Hobbs, R. y Norton, D. (1996) “Towards a Conceptual Framework for Restoration Ecology”, *Restoration Ecology*, Vol. 2, pp. 93-110.
- Instituto Geológico y Minero de España (1930) *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 - Hoja 161 (LEÓN)*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Disponible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?language=es&id=161> (Accedido: 10 de mayo de 2023).
- Instituto Nacional de Estadística (sin fecha) *INEbase, Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional*. Disponible en: <https://www.ine.es/dyngs/INEbase/listaoperaciones.htm> (Accedido: 18 de junio de 2023).
- IUCN (2022) *The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2022-2*. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org> (Accedido: 22 de mayo de 2023).
- López Argüeso, R., Martínez Revilla, V., Asenjo Maderuelo, J., Anguiano Pérez, P. y Lorenzo Fernández, J.M. (2017) “Proyecto de Restauración fluvial mediante infraestructura verde en el río Ucero (Soria). Plan PIMA Adapta” *V Jornadas de Ingeniería del agua*, 24-26 de octubre de 2017. A Coruña: Universidad Politécnica De Cartagena.
- López-Jiménez, N. (ed.) (2021) *Libro Rojo de las aves de España*. Madrid: SEO/BirdLife. Disponible en: https://seo.org/wp-content/uploads/2022/09/Libro-Rojo-web-3_01.pdf (Acceso: 16 de junio de 2023).
- Magdaleno, F. (2017) “Aesthetic vs. functional restoration of urban and peri-urban rivers: the Manzanares River in Madrid (Spain)”, *CSE - CITY SAFETY ENERGY – ISSUE*, 1, pp. 48-59. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12896/cse201700100103> (Accedido: 16 de junio de 2023).
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2019) *Protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos: código M-R-HMF-2019*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/protocolo-caracterizacion-hmf-abril-2019_tcm30-496596.pdf (Accedido: 14 de mayo de 2023).
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2022) *Borrador de Estrategia Nacional de Restauración de Ríos 2022-2030*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/participacion-publica/PP-Borrador-ENRR-2022-2030-noviembre-2022.aspx> (Accedido: 14 de mayo de 2023).
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021) *Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (MFE50)*. España: Banco de Datos de la Naturaleza. Disponible en: <https://datos.gob.es/es/catalogo/e05068001-mapa-forestal-de-espana-escala-1-50-000> (Accedido: 25 de abril de 2023).
- Mola, I., Sopena, A. y de Torre, R. (2018). *Guía Práctica de Restauración Ecológica*. Madrid: Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica. Disponible en: <https://ieeb.fundacion-biodiversidad.es/content/guia-practica-de-restauracion-ecologica> (Accedido 12 de Mayo de 2023).
- Montes del Olmo, C. y Carrascal Moreno, P. (eds.) (2008) *La restauración ecológica del río Guadiana y el proyecto del Corredor Verde*. España: Junta de Andalucía y Dirección General de la Red de Espacios Naturales Protegidos y Servicios Ambientales. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-publicacion/-/asset_publisher/FytOUWH22K7t/content/la-restauraci-c3-b3n-ecol-c3-b3gica-del-r-c3-ado-guadiana-y-el-proyecto-del-corredor-verde-2008--1/20151 (Accedido: 20 de junio de 2023).
- Orello Ojeda, A. (2011) “Alteraciones geomorfológicas de los ríos”, *Manuales de desarrollo sostenible: 10. Recuperación de Riberas*. España: Fundación Banco Santander, pp. 22-26. Disponible en: <https://www.fundacionbancosantander.com/content/dam/fundacion-banco-santander/es/documentos->

- [/medio-ambiente-e-investigacion/recuperacion-de-espacios-naturales/MANUAL-10-Recuperacion-de-la-Fauna-Autoctona.pdf](#) (Accedido: 10 de junio de 2023).
- Orello Ojeda, A., Romeo García, R. Ballarín, D., Bastida, G., Bellosta, J., Camarasa, A.M., Elso, J., García Burgos, E., Godé, L., Herrera, A., Ibero, C., Martín Vide J.P., Mora, D., Mora, B. y Sánchez Fabre, M. (2007) “Las alteraciones geomorfológicas de los ríos”, *Mesa de trabajo de alteraciones morfológicas*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/estrategia-nacional-restauracion-rios/mesa_alteraciones_morfologicas.aspx (Accedido: 9 de junio de 2023).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015) “World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps”, *World Soil Resources Reports No. 106*. Act. 2015. Roma: IUSS Working Group WRB. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/world-reference-base/en/> (Accedido: 17 de Mayo de 2023).
- Pesca en Castilla y León (Sin fecha) [*Visor de Tramos Piscícolas*]. Disponible en: <https://pescacastillayleon.es/visor/> (Accedido: 1 de junio de 2023).
- Petersen, R. C., Petersen, L. B. M. y Lacoursiere, J. (1992) “A building-block model for stream restoration”, en Boon, P y Raven P. (eds.) *River conservation and management*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, pp. 293-309.
- Real Jardín Botánico y CSIC- Fundación Biodiversidad (2012) *ANTHOS Sistema de información de las plantas de España*. Disponible en: www.anthos.es (Accedido: 20 de mayo de 2023).
- Real Jardín Botánico, CSIC (Sin fecha) *Flora Ibérica, Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Disponible en: <http://www.floraiberica.org/> (Accedido: 23 de Mayo de 2023).
- Rivas Martínez, S. (1987) *Mapa de Series de Vegetación de España*. Valladolid: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx (Accedido: 16 de mayo de 2023).
- Rivas Martínez, S. (1987) *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Madrid: ICONA, D.L. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx (Accedido: 20 de mayo de 2023).
- Rivas-Martínez, S. (1983). Pisos bioclimáticos de España, *Lazaroa*, 5, pp. 33- 43.
- Sanz Elorza, M., Dana Sánchez, E.D., y Sobrino Vesperinas, E. (eds.) (2004) *Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España*. Madrid: Dirección General para la Biodiversidad.
- Sanz Elorza, M., González Bernardo F. y Gavilán Iglesias, L.P. (2008) “La flora alóctoma de Castilla y León (España)”, *Botanica Complutensis*, 32, pp. 117-137.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas (2004) *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Tucson: Society for Ecological Restoration. Disponible en: www.ser.org (Accedido: 5 de junio de 2023).
- Suarez, M.L. y Vidal-Abarca, M.R. (2009) “Ecosistemas de ríos y riberas: conocer más para gestionar mejor”, *Revista ambiental*, 98, pp. 134-142. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/app/publicaciones/rev_numero.asp?codrevista=AM (Accedido: 16 de junio de 2023).

8. ANEXOS

8.1. Anexo 1: Caracterización de la zona de estudio

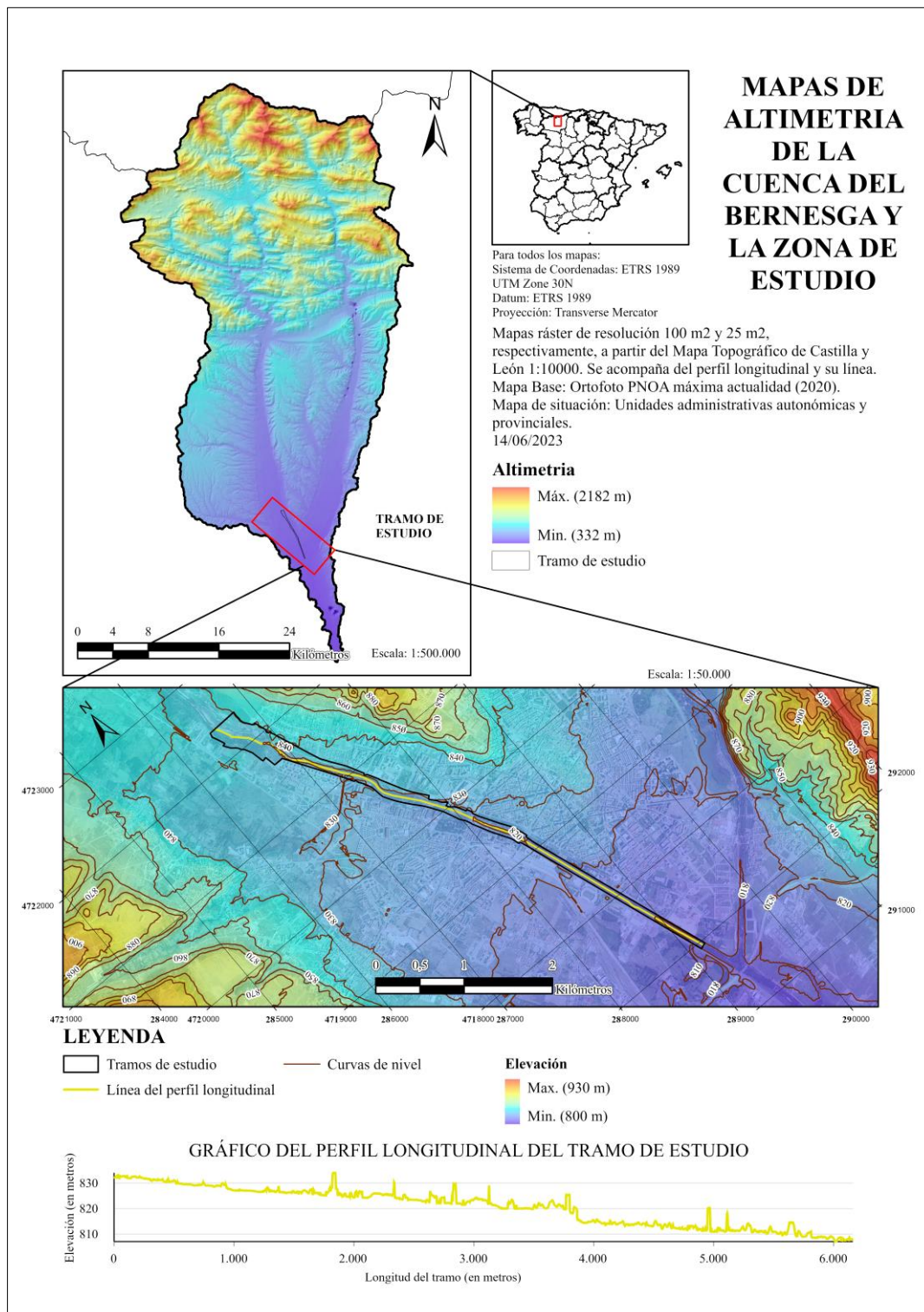


Figura A1.1. Mapa de altimetría de la Cuenca del Bernesga y de la zona de estudio. Cabe destacar que, en el perfil longitudinal, los picos de altura están asociados a las pasarelas que cruzan el río (Fuente: Elaboración propia).

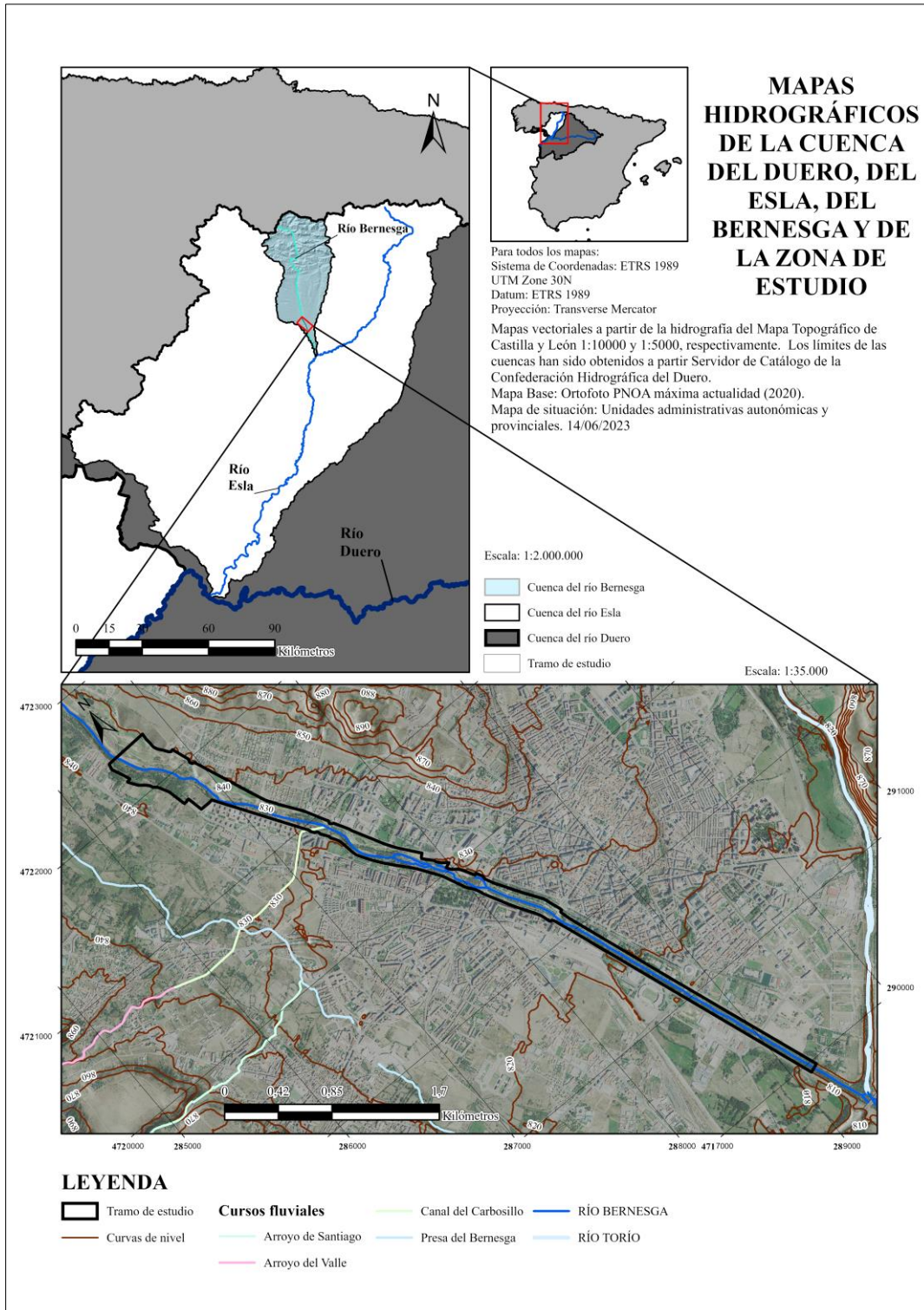


Figura A.1.2. Mapa hidrográfico de la Cuenca del Bernesga y de la zona de estudio. Se han representado las principales masas de agua que se encuentran en el entorno del río Bernesga en su paso por León (Fuente: Elaboración propia).

Tabla A.1.1. Concentraciones medias anuales de los contaminantes específicos registrados para el año 2021, con su clasificación de potencial ecológico. (Fuente: Gabinete de la Confederación Hidrográfica del Duero, 2021).

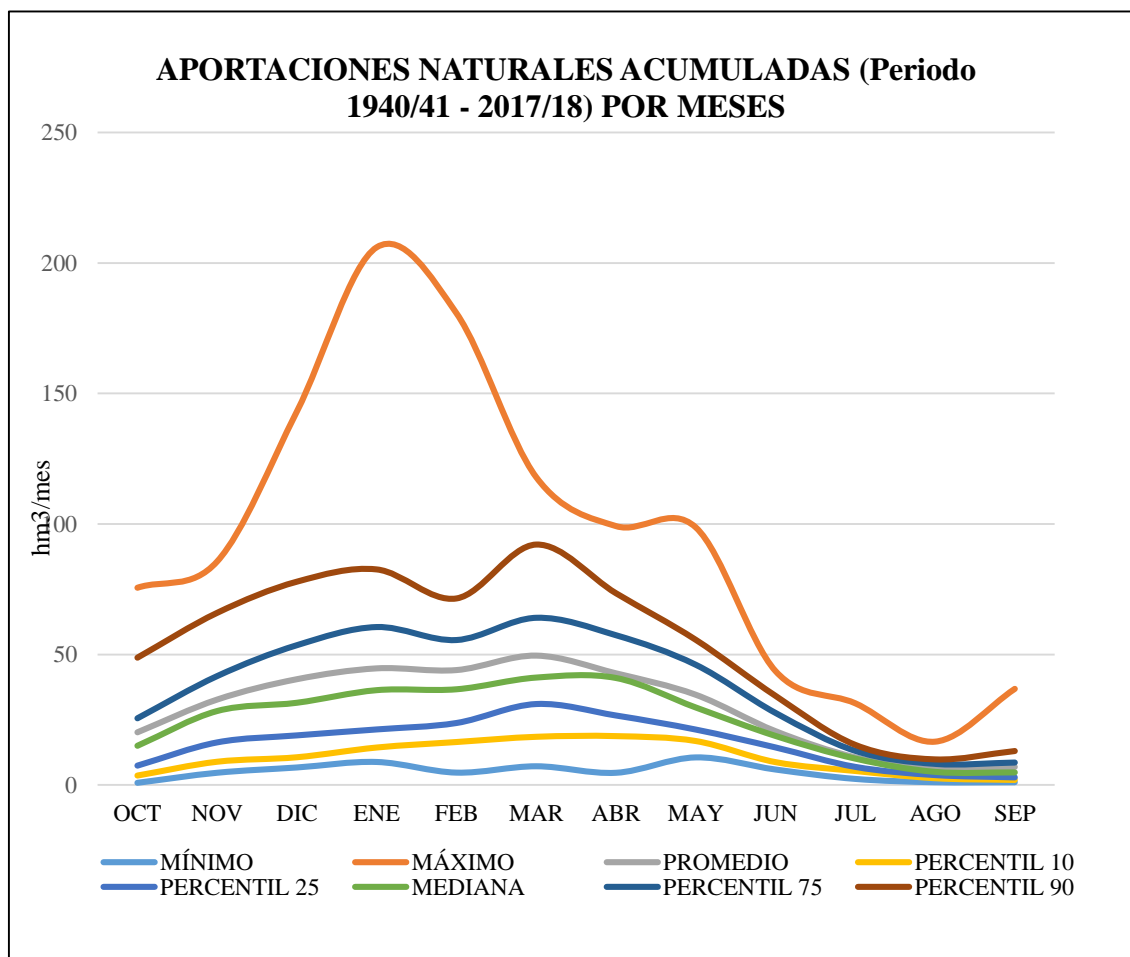
| Indicador [$\mu\text{g/l}$] | Concentración media anual en agua [$\mu\text{g/l}$] | Potencial ecológico |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Glifosato | 0,04 | Muy Bueno |
| AMPA | 0,08 | Muy Bueno |
| Etilbenceno | <1 | Muy Bueno |
| Tolueno | <1 | Muy Bueno |
| 1, 1, 1 – Tricloroetano | <1 | Muy Bueno |
| Xileno (S isómeros orto, meta y para) | <2 | Muy Bueno |
| Terbutilazina | <0,01 | Muy Bueno |
| Cobre | 0,8 | Muy Bueno |
| Cromo | <5 | Muy Bueno |
| Selenio | <0,3 | Muy Bueno |
| Zinc | <8 | Muy Bueno |
| Cianuros totales | <10 | Muy Bueno |
| Fluoruros | <100 | Muy Bueno |
| Clorobenceno | <1 | Muy Bueno |
| Diclorobenceno (S isómeros orto, meta y para) | <1 | Muy Bueno |
| Metolacoloro | <0,0005 | Muy Bueno |

Tabla A.1.2. Concentraciones máximas detectadas y medias anuales de los compuestos químicos indicadores de calidad recogidos para los años 2019 y 2020, con su clasificación para el estado químico del agua. (Fuente: Gabinete de la Confederación Hidrográfica del Duero, 2019-2020).

| Indicador | Concentración media anual en agua [$\mu\text{g/l}$] | Concentración máxima detectada en agua [$\mu\text{g/l}$] | Estado químico |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1,2 dicloroetano | <1,0000 | <1,0000 | Bueno |
| Aclonifeno | <0,0005 | <0,0300 | Bueno |
| Alacloro | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Antraceno | <0,0005 | <0,0220 | Bueno |
| Atrazina | <0,0100 | <0,0300 | Bueno |
| Benceno | <1,0000 | <1,0000 | Bueno |
| Benzo(a)pireno | <0,0002 | <0,0002 | Bueno |
| Benzo(b) + Benzo (k) fluoranteno | <0,0055 | <0,0055 | Bueno |
| Benzo(b)Fluoranteno | <0,0005 | <0,0055 | Bueno |

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------------------------------------|
| Benzo(g,h,i)perileno | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Benzo(g,h,i)perileno + Indeno(1,2,3-cd)pireno | <0,0010 | <0,0010 | Bueno |
| Benzo(k)Fluoranteno | <0,0005 | <0,0028 | Bueno |
| Bifenox | <0,0005 | <0,1000 | Bueno |
| Cadmio y sus compuestos | <0,0200 | <0,0500 | Bueno |
| Cibutrina | <0,0020 | <0,0040 | Bueno |
| Cipermetrina | <0,0005 | <0,0005 | Bueno |
| Clorfenvinfós | <0,0050 | <0,0050 | Bueno |
| Clorpirifós (Clorpirifós etil) | <0,0050 | <0,0050 | Bueno |
| DDT total | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Diclorometano | <1,0000 | <5,0000 | Bueno |
| Diclorvós | <0,0100 | <0,0200 | No se puede valorar |
| Dicofol | <0,0005 | <0,0005 | Bueno |
| Diurón | <0,0100 | <0,0200 | Bueno |
| Fluoranteno | 0,0010 | 0,0009 | Bueno |
| Heptacloro y epóxido de heptacloro | <0,0005 | <0,0010 | No se puede valorar |
| Hexaclorobenceno | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Hexaclorobutadieno | <0,1000 | <0,1000 | Bueno |
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | <0,0005 | <0,0005 | No computa para la evaluación del estado (Normativa vigente) |
| Isoproturón | <0,0100 | <0,0200 | Bueno |
| Mercuríoy sus compuestos | <0,0150 | <0,0150 | Bueno |
| Naftaleno | <0,0100 | <0,2300 | Bueno |
| Níquel y sus compuestos | <0,8000 | 1,8000 | Bueno |
| Plomo y sus compuestos | <0,3000 | <0,5000 | Bueno |
| p,p-DDT | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Quinoxifeno | <0,0100 | <0,0200 | Bueno |
| Simazina | <0,0100 | <0,0300 | Bueno |
| Suma de endosulfán | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Suma de triclorobencenos | <0,1000 | <0,1000 | Bueno |
| Suma Hexaclorociclohexanos (HCH suma de isómeros)[µg/l] | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Suma plaguicidas de tipo ciclodieno: Aldrín, Dieldrín, Endrín e isodrín | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |
| Terbutrina | <0,0100 | <0,0100 | Bueno |

| | | | |
|-----------------------------|---------|---------|-------|
| Tetracloroetileno | <1,0000 | <1,0000 | Bueno |
| Tetracloruro de carbono | <1,0000 | <2,0000 | Bueno |
| Tricloroetileno | <1,0000 | <1,0000 | Bueno |
| Triclorometano (cloroformo) | <1,0000 | <1,0000 | Bueno |
| Trifluralina | <0,0005 | <0,0010 | Bueno |



A.1.3. Estadísticas mensuales de las aportaciones del régimen natural de aportaciones para el periodo 1940-2017 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero).

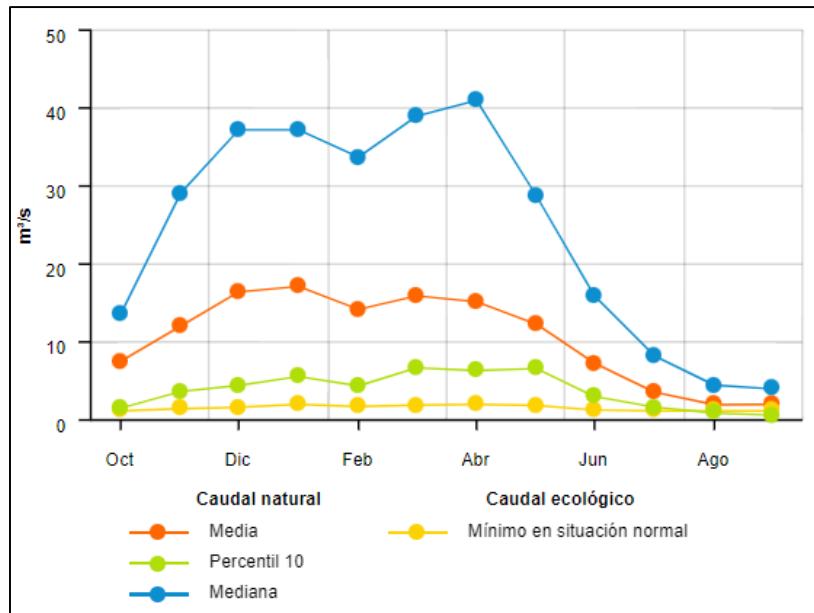


Figura A.1.4. Caudal natural, con su media, percentil 10 y mediana, junto al caudal ecológico mínimo en la situación normal, para la masa Río Bernesga 7 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero).

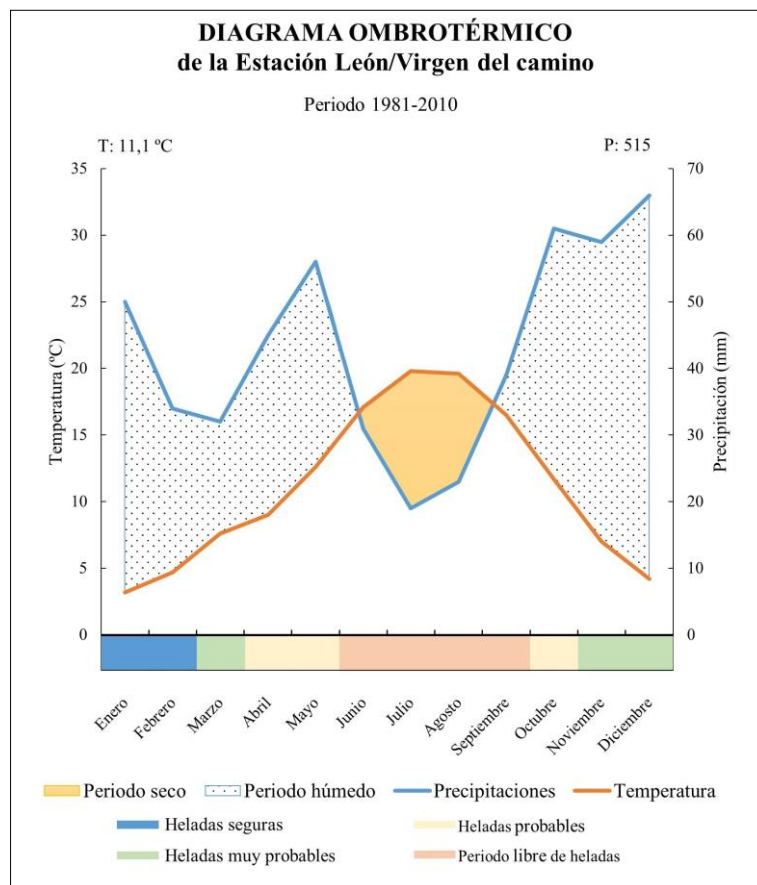


Figura A.1.5. Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio, con base en la temperatura media mensual y las precipitaciones medias mensuales para el periodo 1981-2010, a partir de la tabla de valores climatológicos normales del portal de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). P: Precipitaciones anuales, T: Temperatura media mensual (Fuente: Elaboración propia).

Tabla A.1.3. Caudales ecológicos mensuales en situación normal y en situación de sequía para la masa Río Bernesga 7 (Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero).

| MES | Situación normal [m ³ /s] | Situación sequía [m ³ /s] |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Octubre | 1,15 | 0,575 |
| Noviembre | 1,45 | 0,725 |
| Diciembre | 1,63 | 0,815 |
| Enero | 1,99 | 0,995 |
| Febrero | 1,74 | 0,87 |
| Marzo | 1,9 | 0,95 |
| Abril | 2,01 | 1,005 |
| Mayo | 1,87 | 0,935 |
| Junio | 1,28 | 0,64 |
| Julio | 1,15 | 0,575 |
| Agosto | 1,15 | 0,575 |
| Septiembre | 1,15 | 0,575 |
| Caudal mínimo medio anual | 1,54 | 0,77 |
| Volumen mínimo anual [hm³/año] | 48,55 | 24,27 |

Tabla A.1.4. Año medio para el periodo (1981-2010) con los valores climatológicos normales recogidos en la estación León/Virgen del camino (Fuente: AEMET). Se utiliza la notación usada por AEMET.

| Mes | T | TM | Tm | R | H | DR | DN | DT | DF | DH | DD | I |
|------------|------|------|------|-----|----|------|-----|------|------|------|------|------|
| Enero | 3.2 | 7.1 | -0.7 | 50 | 82 | 7.6 | 4.1 | 0 | 8.1 | 18.6 | 5.8 | 130 |
| Febrero | 4.7 | 9.5 | 0 | 34 | 74 | 6 | 3.1 | 0.1 | 2.8 | 15 | 5.8 | 161 |
| Marzo | 7.6 | 13.3 | 1.9 | 32 | 66 | 5.6 | 1.6 | 0.3 | 1 | 9.4 | 6.9 | 214 |
| Abril | 9 | 14.8 | 3.3 | 45 | 65 | 7.7 | 0.9 | 1.2 | 0.3 | 5.2 | 4.1 | 228 |
| Mayo | 12.6 | 18.6 | 6.6 | 56 | 62 | 8.8 | 0.1 | 3.9 | 0.6 | 0.7 | 3.6 | 259 |
| Junio | 17.1 | 24 | 10.2 | 31 | 56 | 4.6 | 0 | 2.9 | 0.2 | 0 | 7.3 | 314 |
| Julio | 19.8 | 27.4 | 12.2 | 19 | 52 | 2.8 | 0 | 3 | 0.1 | 0 | 12.3 | 358 |
| Agosto | 19.6 | 26.9 | 12.3 | 23 | 54 | 2.7 | 0 | 2.6 | 0.1 | 0 | 11.8 | 327 |
| Septiembre | 16.5 | 22.9 | 10.1 | 39 | 62 | 4.5 | 0 | 1.5 | 0.2 | 0 | 9 | 246 |
| Octubre | 11.7 | 16.7 | 6.7 | 61 | 74 | 8.2 | 0 | 0.4 | 1.7 | 0.7 | 4.9 | 178 |
| Noviembre | 7 | 11.2 | 2.8 | 59 | 80 | 7.5 | 0.8 | 0 | 4.8 | 7.3 | 5.4 | 137 |
| Diciembre | 4.2 | 8 | 0.4 | 66 | 83 | 8.7 | 2.2 | 0.1 | 7.9 | 14.6 | 6.3 | 120 |
| Año | 11.1 | 16.7 | 5.5 | 515 | 67 | 74.9 | 13 | 16.1 | 27.8 | 71.6 | 83 | 2673 |

En la que:

- T: Temperatura media (°C)
- TM: Temperatura media de las máximas (°C)
- Tm: Temperatura media de las mínimas (°C)
- R: Precipitación media (mm)
- H: Humedad relativa media (%)
- DR: Número medio de días de precipitación ≥ 1 mm
- DN: Número medio de días de nieve
- DT: Número medio de días de tormenta
- DF: Número medio de días de niebla
- DH: Número medio de días de helada
- DD: Número medio mensual de días despejados
- I: Número medio mensual/anual de horas de sol

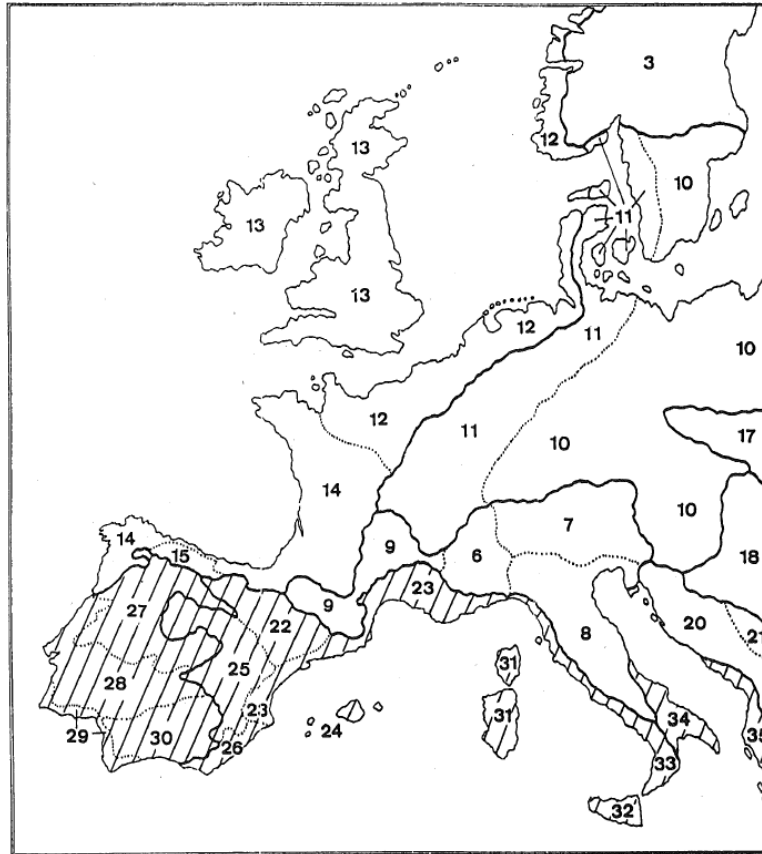


Figura A.1.6. Mapa de las diferentes provincias bioclimáticas presentes en Europa. La numeración corresponde con: Boreo europea (3), Alpina occidental (6), Alpina centro-oriental (7), Apenino-Padana (8), Pirenaica (9), Centroeuropea (10), Subatlántica (11), Noratlántica (12), Británica (13), Cántabro-Atlántica (14), Orocantábrica (15), Tátrica (17), Panónica (18), Ilírico-Bósniaca (20), Servo-Macedónica (21), Aragonesa (22) Valenciano-Catalano-Provenzal (23), Balear (24), Castellano-Maestrazgo-Manchega (25), Murciano-Almeriense (26), Carpetano-Ibérico-Leonesa (27), Luso-Extremadurensis (28), Gaditano-Onubo-Algarviense (29), Bética (30), Corso-Sarda (31), Ligúrio-Romano-Calábriaca (32), Sícula (33), Púglica (34) y Etólico-Epirota (35). La zona de estudio se encontraría dentro del área con el número 27, siendo esta la provincia Carpetano-Ibérico-leonesa dentro de la región mediterránea (Fuente: Rivas Martínez, 1987).

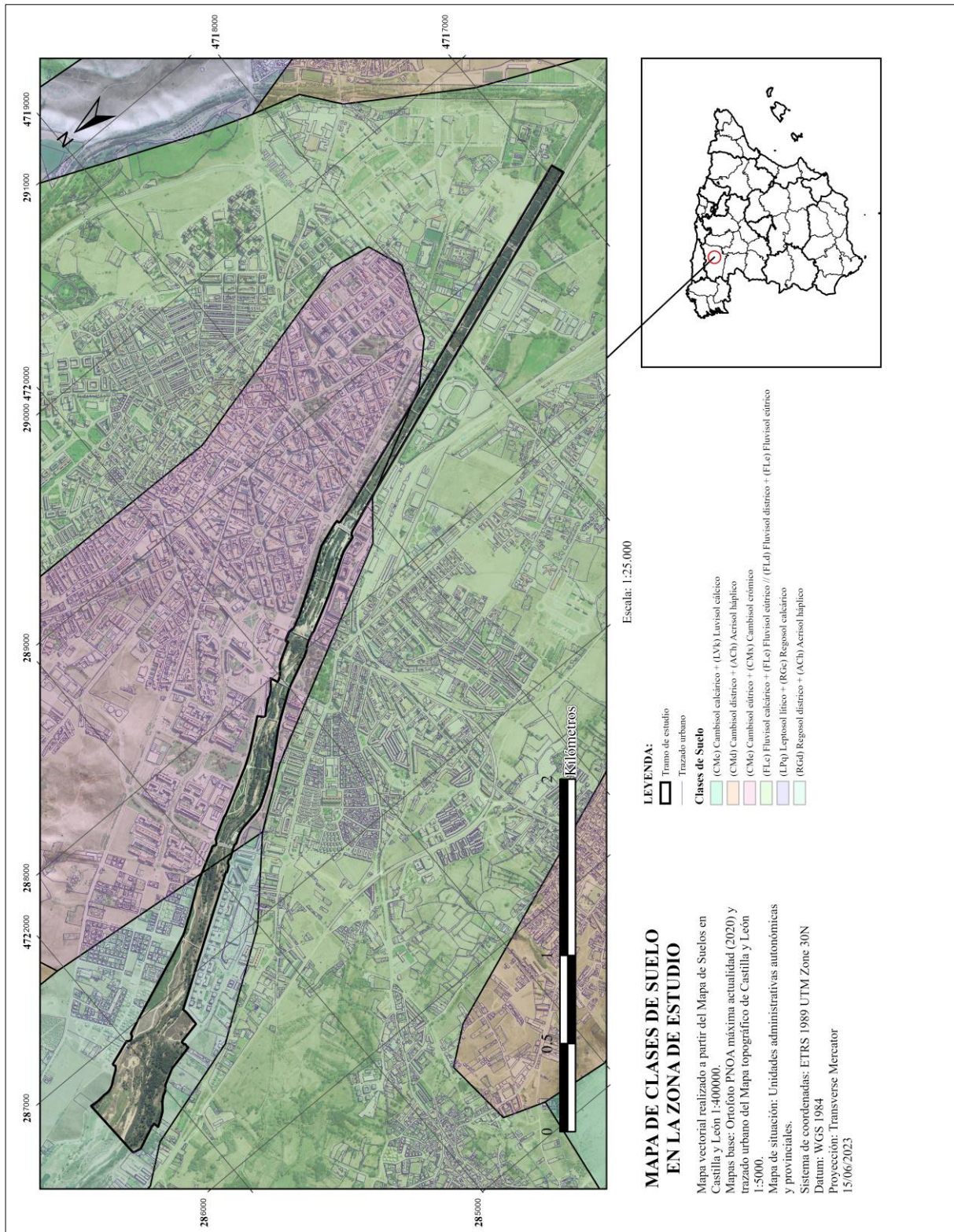


Figura A.1.7. Mapa de Clases de Suelo en la zona de estudio. Como se puede observar, en la zona de estudio se presentan 3 tipologías: Asociación Regosol dístico (RGd) + Acrisol háplico (ACh) en la parte superior (en azul claro), asociación Cambisol éútrico (CMe) + Cambisol crómico (CMx) en la parte intermedia (en rosa), y asociación Fluvisol calcárico (FLc) + Fluvisol éútrico (FLe) //Fluvisol dístico (FLd) + Fluvisol éútrico (FLe) en la porción inferior (en verde) (Fuente: Elaboración propia).

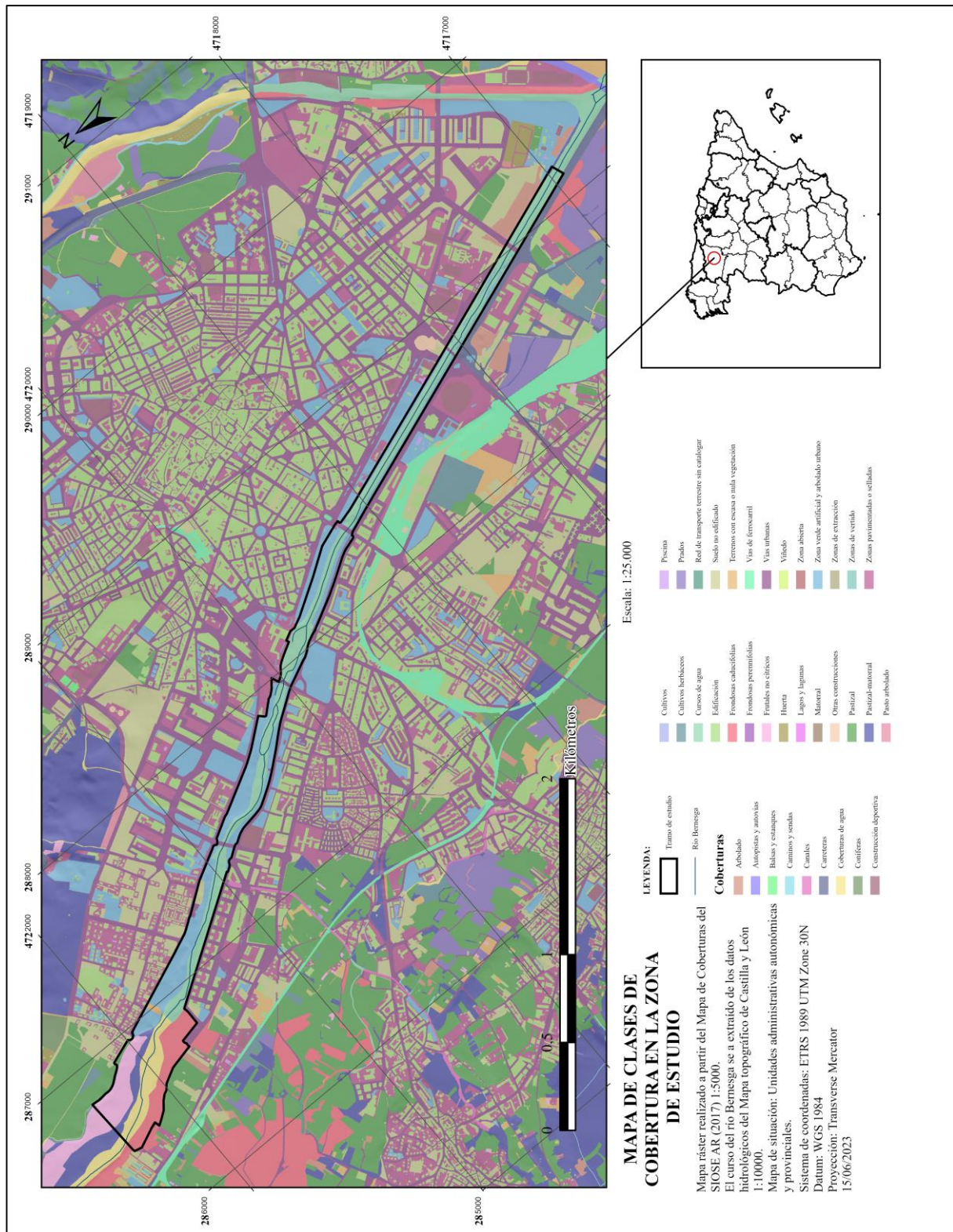


Figura A.1.9. Mapa de clases de cobertura en la Zona de Estudio y alrededores. Se puede apreciar como en el parte superior del tramo se dan una mayor variedad de coberturas, justo al contrario que en la parte inferior asociada al ensanchamiento urbanístico (Fuente: Elaboración propia).

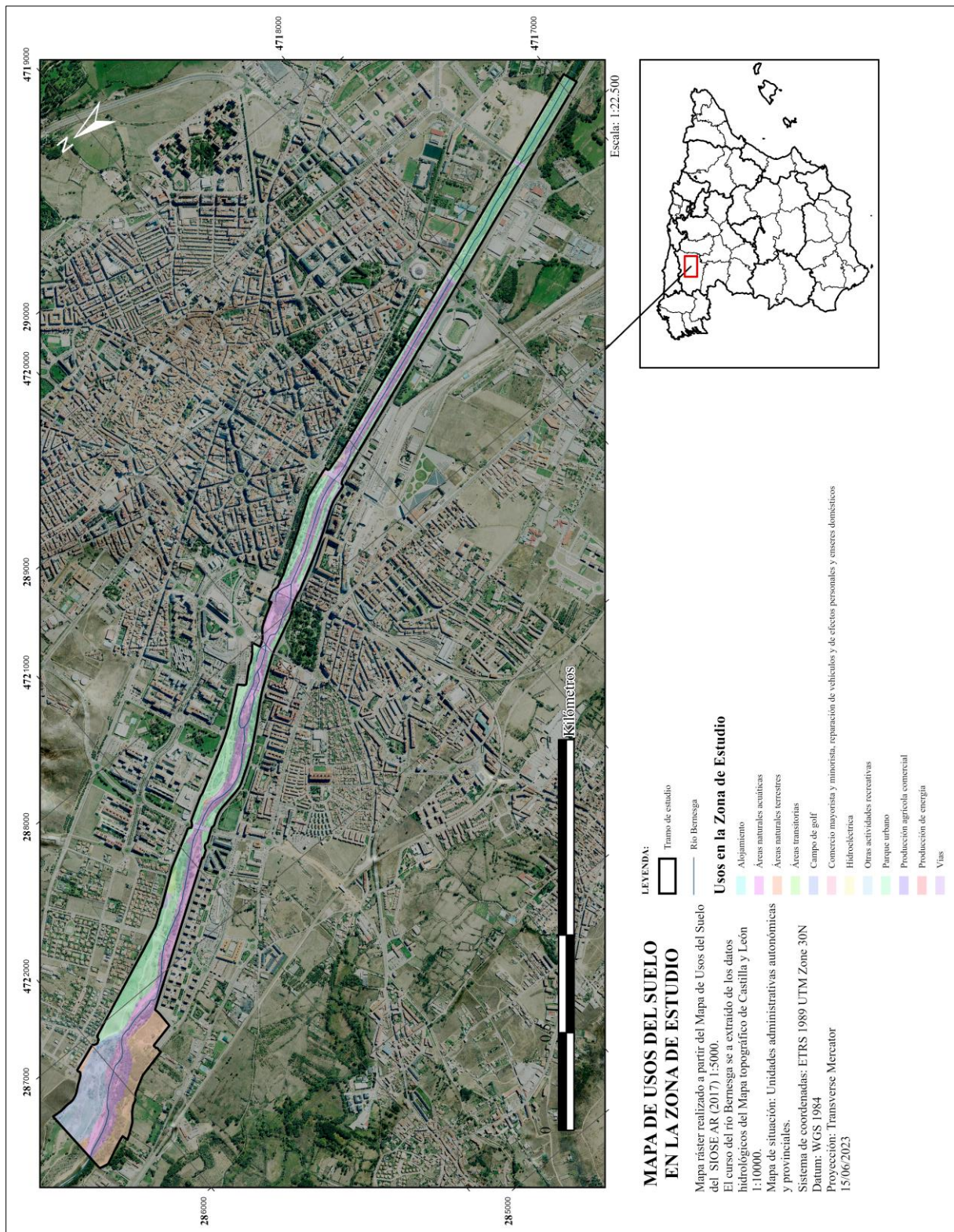


Figura A.1.10. Mapa de Usos del Suelo en la Zona de Estudio (Fuente: Elaboración propia).

Tabla A.1.4. Inventario de especies vegetales presentes en la zona de estudio. Continúa en la siguiente página (Fuente: Elaboración propia, a partir de las especies seleccionadas en la Colección de plantas vasculares del Herbario "Jaime Andrés Rodríguez". LEB. Herbarium "Jaime Andrés Rodríguez").

| CLASES | ORDEN | FAMILIA | GENERO | NOMBRE CIENTÍFICO |
|---------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
| Liliopsida | Asparagales | Iridaceae | <i>Iris*</i> | <i>Limniris pseudacorus</i> (L.) Fuss |
| | Poales | Poaceae | <i>Avena</i> | <i>Avena fatua</i> L. |
| | | | <i>Bromus</i> | <i>Bromus diandrus</i> Roth |
| | | | <i>Phragmites</i> | <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud. |
| | | Typhaceae | <i>Sparganium</i> | <i>Sparganium erectum</i> L. |
| Magnoliopsida | Brassicales | Brassicaceae | <i>Capsella</i> | <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. |
| | | | <i>Lepidium</i> | <i>Lepidium campestre</i> (L.) R.Br. |
| | | | <i>Rorippa</i> | <i>Rorippa sylvestris</i> subsp. <i>Sylvestris</i> (L.) Besser |
| | Caryophyllales | Chenopodiaceae | <i>Chenopodium</i> | <i>Chenopodium album</i> L. |
| | | Polygonaceae | <i>Polygonum</i> | <i>Polygonum lapathifolium</i> L. |
| | | | <i>Rumex</i> | <i>Rumex crispus</i> L. |
| | Fabales | Fabaceae | <i>Medicago</i> | <i>Medicago sativa</i> L. |
| | | | <i>Trifolium</i> | <i>Trifolium pratense</i> L. |
| | Fagales | Betulaceae | <i>Alnus</i> | <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn. |
| | Lamiales | Oleaceae | <i>Fraxinus</i> | <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl |
| | | Plantaginaceae | <i>Veronica</i> | <i>Veronica anagallis-aquatica</i> L. |
| | Malpighiales | Salicaceae | <i>Populus</i> | <i>Populus alba</i> L. |
| | | | | <i>Populus nigra</i> L. |
| <i>Salix</i> | | | <i>Salix alba</i> L. | |

| | | | | |
|-----------------|----------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Magnoliopsida | Malpighiales | Salicaceae | <i>Salix</i> | <i>Salix rubens</i> Schrank |
| | | | | <i>Salix caprea</i> L. |
| | | | | <i>Salix eleagnos</i> Scop. |
| | | | | <i>Salix fragilis</i> L. |
| | | | | <i>Salix purpurea</i> var. <i>lambertiana</i> (Sm.) Rchb. |
| | | | | <i>Salix triandra</i> L. |
| | Myrtales | Onagraceae | <i>Epilobium</i> | <i>Epilobium hirsutum</i> L. |
| | | Lythraceae | <i>Lythrum</i> | <i>Lythrum salicaria</i> L. |
| | Ranunculales | Ranunculaceae | <i>Aconitum</i> | <i>Aconitum napellus</i> L. |
| | | | <i>Clematis</i> | <i>Clematis vitalba</i> L. |
| | Rosales | Moraceae | <i>Ficus</i> | <i>Ficus carica</i> L. |
| | | Rosaceae | <i>Potentilla</i> | <i>Potentilla reptans</i> L. |
| | | | <i>Rosa</i> | <i>Rosa canina</i> L. |
| | Sapindales | Sapindaceae | <i>Acer</i> | <i>Acer pseudoplatanus</i> L. |
| <i>Aesculus</i> | | | <i>Aesculus hippocastanum</i> L. | |
| Solanales | Convolvulaceae | <i>Calystegia</i> | <i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.) | |
| Equisetales | Equisetaceae | <i>Equisetum</i> | <i>Equisetum ramosissimum</i> Desf. | |
| Polypodiopsida | Polypodiales | Dennstaedtiaceae | <i>Pteridium</i> | <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn |



Figura A.1.11. Fotografía de la orilla izquierda en la parte intermedia del tramo, con orientación aguas abajo. En la parte central se dispone un grupo de carrizos, con un castaño de indias a su izquierda y ejemplares de *Salix* y un chopo juvenil a la derecha (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.1.12. Fotografía de las formaciones arbóreas presente en la acumulación de sedimentos aguas abajo del puente de San Marcos. Se diferencia un aliso en el centro rodeado por ejemplares de *Salix*, con un chopo blanco en la parte derecha. La zona está cubierta por especies arbustivas y árboles jóvenes de bajo porte, ocupando varios metros de las orillas (Fuente: Elaboración propia).

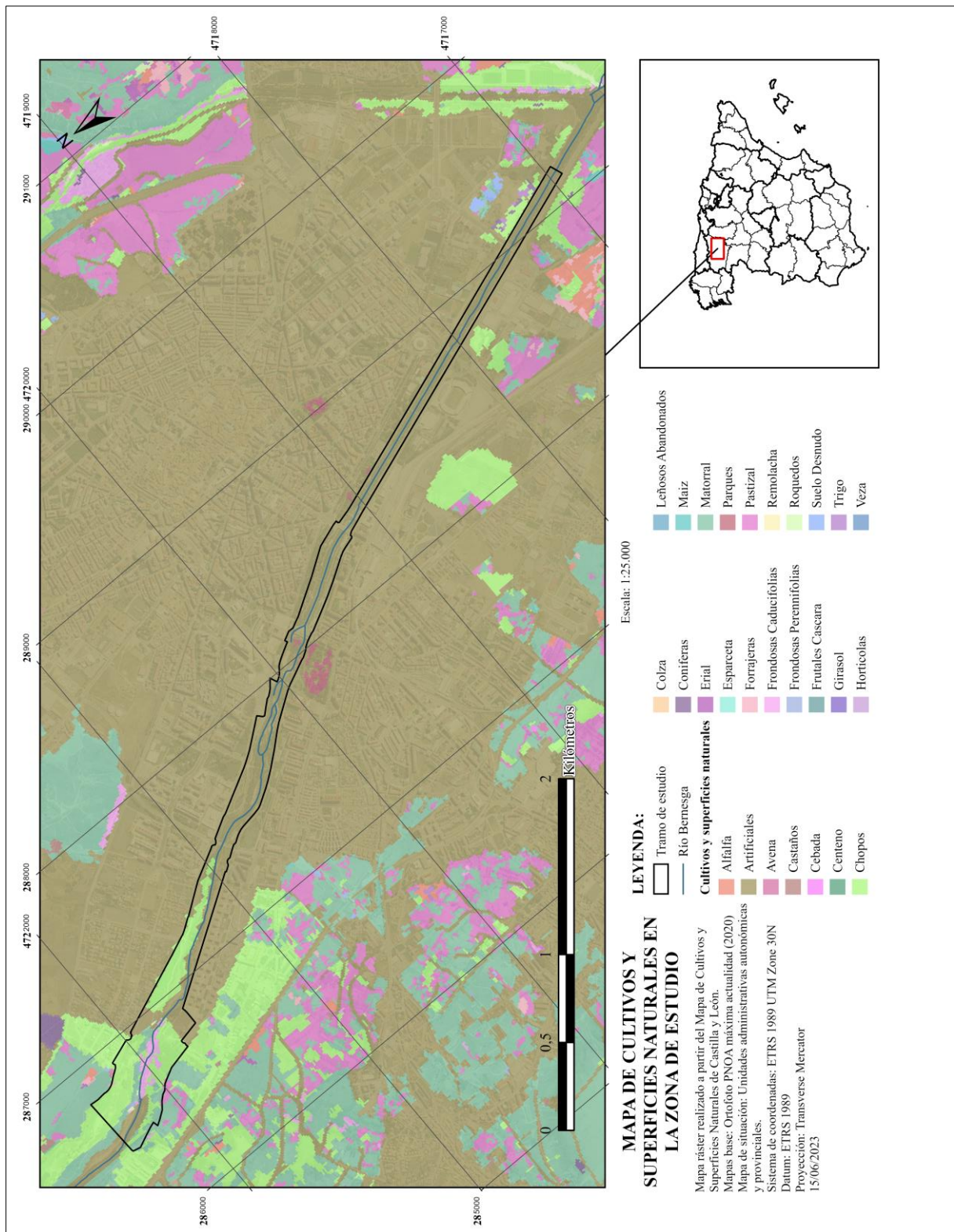


Figura A.1.13. Mapa de cultivos y superficies vegetales en la zona de estudio y alrededores (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.1.14. Fotografía de zona del río situada aguas abajo del puente de San Marcos. Se puede apreciar la gran acumulación de material en ambos márgenes, especialmente en el izquierdo. La vegetación compuesta por primocolonizadoras se está comenzando a asentar en las nuevas orillas. En las orillas hay algunas personas pescando (Fuente: Elaboración propia).

8.1.1. Cálculo del índice de mediterraneidad (Im), índice térmico (It) y evapotranspiración potencial (ETP):

Las fórmulas de los índices de mediterraneidad tienen la siguiente expresión:

$$Im1 = \frac{ETP_{jul}}{P_{jul}} \quad Im2 = \frac{ETP_{jul} + ETP_{ago}}{P_{jul} + P_{ago}} \quad Im2 = \frac{ETP_{jul}ETP_{ago} + ETP_{jun}}{P_{jul} + P_{ago} + P_{jun}}$$

En las que:

- Im: Índice de mediterraneidad
- ETP: Evapotranspiración (mm/mes)
- P: Precipitaciones (mm)

Los valores de ETP de los meses estivales de la zona de estudios han sido estimados mediante el método Thornthwaite (1948). Se ha hecho uso de este método debido a que es el más extendido, y por disponer de los datos necesarios para el cálculo. El cálculo de la ETP sigue el siguiente cálculo:

$$ETP_{sin\ corregir} = 16 * \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a$$

Siendo que:

- $I = \sum i$ e $i = (t/5)^{1,514}$, refiriéndose el coeficiente t a la temperatura media mensual (en °C).
- $a = 0,000000675 * I^3 - 0,000077 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239$

$$ETP_{corregida} = ETP_{sin\ corregir} * \left(\frac{N * d}{365} \right)$$

En la que:

- d: nº de días en el mes
- N: nº máximo de horas de sol

A partir de los datos recogidos climatológicos recogidos en la estación de La Virgen/León se han obtenido los siguientes valores:

Tabla A.1.5. Valores obtenidos para los coeficientes en el cálculo de la Evapotranspiración en la zona de estudio, a partir de los valores climatológicos normales de horas de sol y temperatura media mensual del periodo climatológico de 1981-2010. Se marcan los valores de interés en el cálculo (Fuente: Elaboración propia).

| Mes | Horas de sol de media | n° de días en el mes (d) | Temperatura media mensual (t) | i | I | a | ETP _{sin corregir} (mm/mes) | ETP _{corregida} (mm/mes) |
|------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|------|-------|------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Enero | 4.2 | 31 | 3.2 | 0.51 | | | 10.84 | 3.87 |
| Febrero | 5.5 | 28 | 4.7 | 0.91 | | | 17.16 | 7.24 |
| Marzo | 6.9 | 31 | 7.6 | 1.88 | | | 30.46 | 17.85 |
| Abril | 8.2 | 30 | 9.0 | 2.43 | | | 37.27 | 25.12 |
| Mayo | 10 | 31 | 12.6 | 4.05 | | | 55.70 | 47.31 |
| Junio | 11.7 | 30 | 17.1 | 6.43 | | | 80.21 | 77.13 |
| Julio | 12.2 | 31 | 19.8 | 8.03 | 44.32 | 1.19 | 95.55 | 99.01 |
| Agosto | 11.3 | 30 | 19.6 | 7.91 | | | 94.40 | 87.68 |
| Septiembre | 9.6 | 31 | 16.5 | 6.10 | | | 76.86 | 62.67 |
| Octubre | 6.7 | 30 | 11.7 | 3.62 | | | 50.99 | 28.08 |
| Noviembre | 4.8 | 31 | 7.0 | 1.66 | | | 27.61 | 11.26 |
| Diciembre | 4.1 | 30 | 4.2 | 0.77 | | | 15.00 | 5.06 |

Una vez calculados los valores de ETP, se evalúan en las fórmulas del IME para la zona de estudio, desarrollándose de la siguiente manera:

$$Im1 = \frac{99,01}{19} = 5,21 \quad Im2 = \frac{99,01+87,68}{19+23} = 4,19 \quad Im2 = \frac{99,01 + 87,68 + 77,13}{19+23+31} = 3,61$$

Índice de termicidad (It) que se expresa como:

$$It = (T + m + M) * 10$$

El índice térmico tiene una gran significancia a la hora de determinar a qué horizonte bioclimático presenta la región dentro del piso bioclimático; en el caso de la ciudad de León se da que:

$$It=(11-0,7+7,1)*10 = 175$$

Este valor es correspondiente con el horizonte Supramediterráneo inferior.

8.2. Anexo 2: Impactos



Figura A.2.1. Fotografía de la parte superior del azud de la estación de generación hidroeléctrica (a la izq.). El azud ha conllevado la aparición de una zona de remanso de mayor profundidad, en la que se puede observar una gran cantidad de plantas acuáticas ocupando gran parte del cauce. En la parte inferior izquierda y en la parte superior central en el fondo se pueden discernir escolleras dispuestas en las orillas. Estas se encuentran en ambas márgenes, siendo así tanto aguas arriba como aguas abajo para la porción del tramo (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.2. Fotografía de la parte inferior del tramo de estudio. Se pueden observar una traviesa junto a una escollera de unos 2 metros, que une la orilla con la zona elevada de pase. Es apreciable la carencia de una estructura vegetal de ribera natural, ya que no se presenta una orilla con una configuración suave. (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.3. Configuración del terraplén dispuesto en el margen derecho (orientación aguas arriba) de la parte media del tramo, en el que se distinguen dos niveles diferenciados intercalados por pendientes. El nivel inferior con un carril bici y el superior con una senda pavimentada. De fondo se dispone el muro de hormigón, perteneciente a la primera fase de canalización en este segmento; se aprecia un deterioro notable en comparación con la pasarela que sostiene encima, estando descorchado y con vegetación creciendo sobre el mismo. Este muro supone un obstáculo para el aporte de sedimentos al curso fluvial, y acentúa la desconexión entre el río y su ribera, que en este caso son inexistentes. (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.4. Fotografía de la orilla izquierda en la porción media de tramo. La vegetación ha cubierto una antigua escollera, en la que los niveles de humedad y poca inclinación ha producido la formación de suelo sobre la que se ha establecido un corredor vegetal con la anchura de la propia orilla. El material de la escollera se encuentra degradado y la estabilidad se puede ver comprometida, y se aprecia en la esquina inferior izquierda el corte súbito al césped que se encuentra en la zona de paseo. (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.5. Fotografía de una de las 14 traviesas dispuesta en el tramo de estudio. Esta imagen corresponde a una de las que se encuentran en la parte inferior, después del puente de los Leones. Se puede distinguir como se produce una superficie remansada en la parte superior. (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.6. Fotografía de un corte en la zona de paseo hasta la orilla, que permite discernir la diferencia de altura entre la orilla (En la base del árbol central) y la parte superior del talud (sobre la que se dispone la zona de paseo) (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.6. Fotografía de la parte inferior del azud de la central hidroeléctrica con orientación aguas arriba (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.7. Fotografía de una zona de aguas remansadas a causa de una traviesa, con orientación aguas arriba. En la orilla izquierda se dispone un vertido urbano de aguas, que ha podido causar con el tiempo el ensanchamiento de la orilla, con material de menor granulometría, en esa zona. Al fondo, en mitad del cauce, se distingue un banco de grava en el que se ha establecido vegetación de porte medio (Fuente: Elaboración propia).

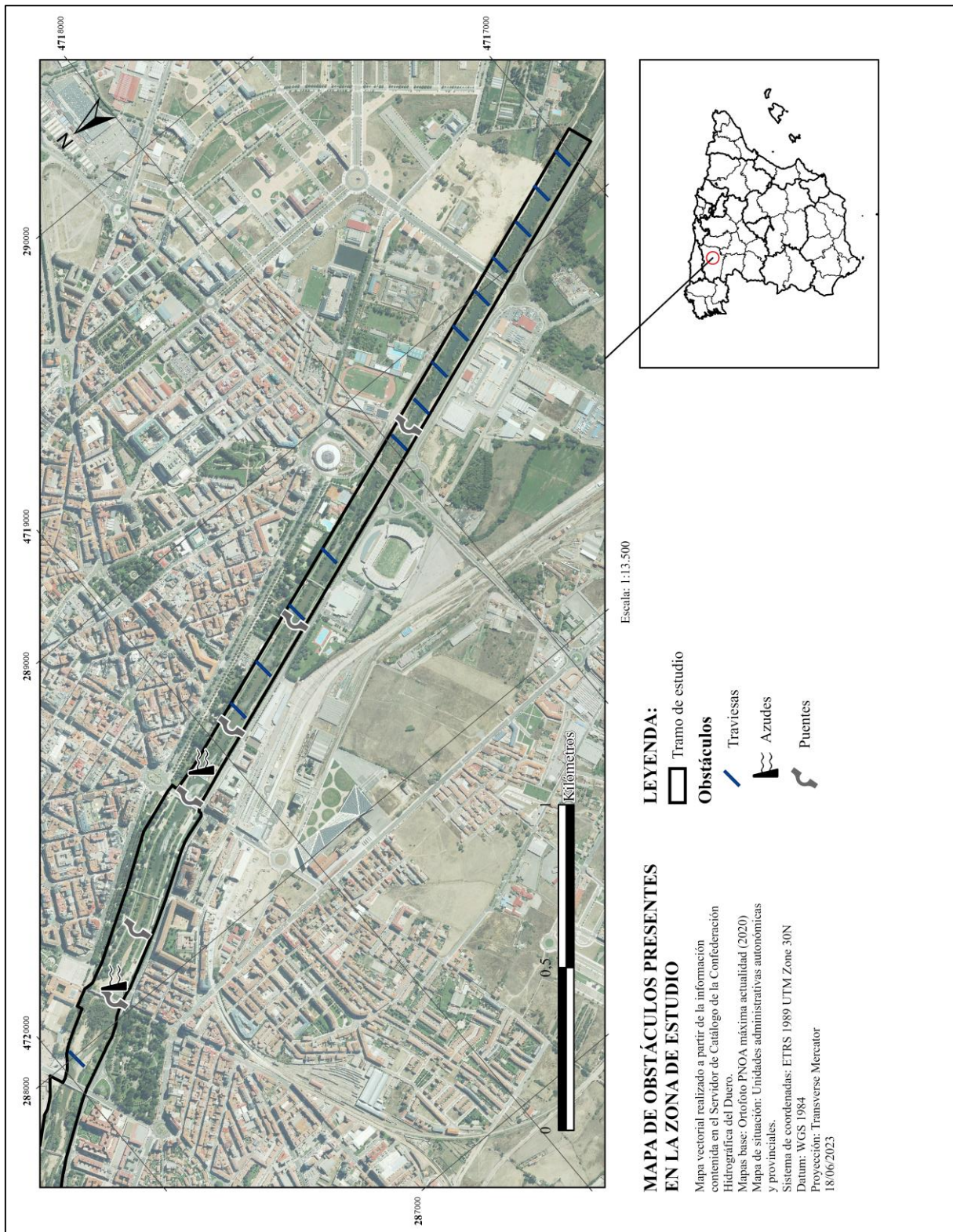


Figura A.2.8. Mapa con las traviesas, azudes y puentes que actúan como obstáculos del curso fluvial en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.9. Fotografía del lecho en el tramo intermedio, en la que se encuentra un fondo de cauce compuesto por material grueso de tipo canto y grava que cubre toda la superficie (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.10. Fotografía del lecho en el tramo inferior, con material terciario de color anaranjado expuesto. Gran parte de la orilla presenta está cubierta rocosa; sin embargo, esto no ha evitado que la vegetación haya ocupado la zona (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.11. Fotografía de la orilla en la margen izquierda (orientación aguas abajo) de la parte inferior del tramo. Se puede distinguir el efecto de deslizamiento que producirá, junto con la erosión de la orilla, la caída de los árboles hacia el cauce.



Figura A.2.12. Fotografía de la orilla en la margen izquierda (orientación aguas abajo) de la parte inferior del tramo. El deslizamiento de la orilla ha producido que los árboles se encuentren inclinados en la dirección contraria al movimiento del agua. Es común ver esta configuración en las partes medias y bajas del tramo de estudio. También es apreciable la acumulación de material vegetal que ha quedado atrapado en la orilla en la parte derecha de la fotografía, que ocurre muy frecuente también en gran parte del tramo. Con este tipo de orillas, la próxima avenida podría suponer el arrastre de una gran cantidad de biomasa, encontrándose hoy en día una gran cantidad de materia vegetal atrapada en las orillas (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.13. Fotografía dentro de la zona inferior del tramo, con orientación aguas abajo. Es evidente la barrera en el desarrollo de la vegetación de ribera, en la que se pasa de una vegetación de gran porte en la orilla, a pastos bajos en la zona de paseo superior. El desaprovechamiento del espacio lateral es evidente. En la parte izquierda se puede reconocer el acceso a los usuarios en forma de rampa, que se ha dispuesto sobre una escollera de bloques descubierta, posiblemente con la intención de que también actúe como estructura de protección en caso de avenidas (Fuente: Elaboración propia).



Figura A.2.14. Fotografía aguas arriba del puente de San Marcos, en la margen derecha. Se observa una estructura de ribera mucho más diversa, debido a que el derribo del azud de San Marcos ha permitido el establecimiento de sedimentos y la formación de un espacio ribereño más amplio. Cabe destacar que detrás de la formación arbolada de la derecha se encuentra el muro lateral de convento de San Marcos (Fuente: Elaboración propia).

8.3. Anexo 3: Propuesta de actuaciones

Tabla A.3.1. Cronograma de las diferentes actuaciones planteadas para el proyecto de restauración. Los puntos suspensivos en la última columna indica el mantenimiento de las actividades hasta los 5 años (Fuente: Elaboración propia).

| ACTUACIONES | AÑO 1 | | | | | | | | | | | | AÑO 2 | | | | | | | | | | | | AÑO 3 | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|
| | E N . | F E B . | M A R . | A B R . | M A Y . | J U N . | J U L . | A G . | S E P . | O C T . | N O V . | D I C . | E N . | F E B . | M A R . | A B R . | M A Y . | J U N . | J U L . | A G . | S E P . | O C T . | N O V . | D I C . | E N . | F E B . | M A R . | A B R . | M A Y . | J U N . | J U L . | A G . | S E P . | O C T . | N O V . | D I C . |
| A.1: Remodelación de la orillas y riberas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A.2: Reforma del cauce | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A.3: Remodelación de las escolleras y muros de gaviones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.1: Eliminación de las traviesas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.2: Remodelación del azud de la central hidroeléctrica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B.3: Reconstrucción de la escala para peces | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C.1: Rescate y transferencia de las poblaciones de peces | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D.1: Recogida de material fluvial | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D.2: Instalación de los diques de lecho | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D.3: Depósito del material en lechos erosionados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E.1: Escarificado del suelo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E.2: Colocación de mantas orgánicas/geotextiles | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E.3: Estaquillado de tallos y ramas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F.1: Mantenimiento y monitoreo de la hidromorfología | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ... |
| F.2: Observación y mantenimiento de las estructuras de protección | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ... |
| F.3: Seguimiento de las poblaciones piscícolas y evaluación de la efectividad de la escala de peces | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ... |
| G.1: Reconstrucción de la vía de paseo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G.2: Restablecimiento de los accesos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G.3: Adición de nuevas entradas al espacio fluvial | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H.1: Reconversión de la central hidroeléctrica a centro de interpretación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H.2: Establecimiento de miradores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H.3: Colocación de paneles informativos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L.1: Charlas informativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L.2: Actividades y talleres | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L.3: Encuestas de opinión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

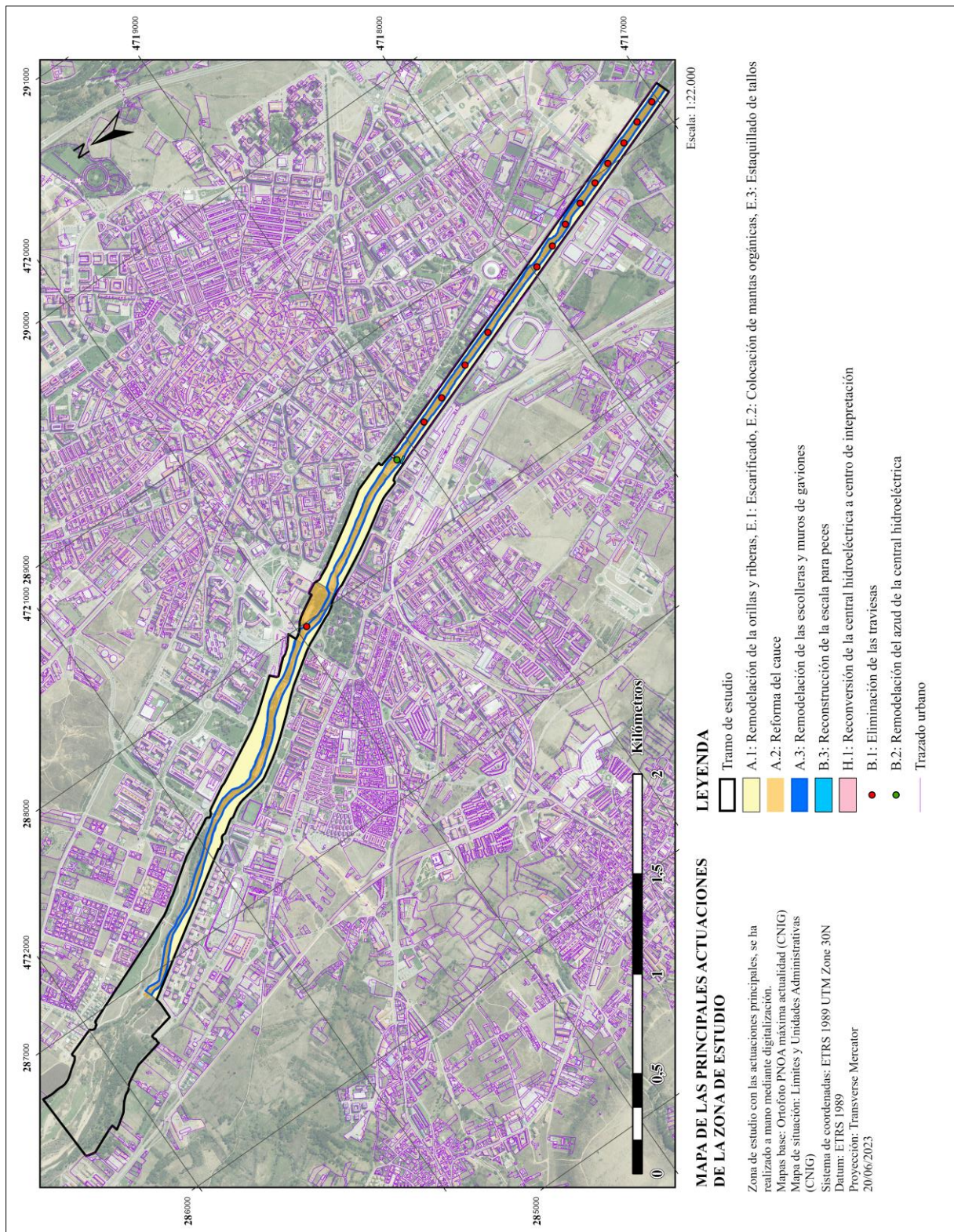


Figura A.3.1. Plano de las principales actuaciones que se proponen sobre la zona de estudio. Las actuaciones no representadas presentan un grado de flexibilidad en su emplazamiento mayor, por lo que no han sido representadas (Fuente: Elaboración propia).

8.4. Bibliografía de anexos

- AEMET Portal Web (Sin fecha) *Valores climatológicos normales. León, Virgen del Camino*. Disponible en: <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=2661&k=cle> (Accedido: 20 de marzo de 2023).
- Confederación Hidrográfica del Duero (2023) *Visor Mírame-IDE Duero*. Disponible en: <https://mirame.chduero.es/chduero/viewer> (Accedido: 20 de mayo de 2023).
- Confederación Hidrográfica del Duero (sin fecha) Servidor de Catálogo de la Confederación Hidrográfica del Duero. Disponible en: <https://mirame.chduero.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home> (Accedido: 18 de mayo de 2023).
- Environmental Systems Research Institute, Inc. (2020) *ArcGIS Pro (Versión 2.7.0) [Programa de ordenador]*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, Inc. Disponible en: <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-pro/overview> (Accedido: 12 de marzo de 2023).
- Forteza Bonnin, J. y Lorenzo Martín, L.F. (1988) *Mapa de clases de suelo de toda la comunidad de Castilla y León 1:400000 [Cartografía Digital]*. Disponible en: <https://suelos.itacyl.es/mapas> (Accedido: 5 de abril de 2023).
- IGN (Sin fecha) *Centro Nacional de Información Geográfica, Centro de descargas*. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal/qsm-cnig> (Accedido: 28 de marzo de 2023).
- Instituto Geográfico Nacional (2017) *Sistema de Ocupación del Suelo de España de alta resolución (SIOSE AR) 1:5000 [Cartografía Digital]*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal/inicio> (Accedido: 6 de junio de 2023).
- Instituto Geográfico Nacional (2019) *Base de Datos de Divisiones Administrativas de España [Cartografía Digital]*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal/inicio> (Accedido: 6 de junio de 2023).
- Instituto Geográfico Nacional (2020) *Ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) máxima actualidad de España [Cartografía Digital]*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal/inicio> (Accedido: 5 de abril de 2023).
- Instituto Geológico y Minero de España (1930) *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 - Hoja 161 (LEÓN)*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Disponible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?language=es&id=161> (Accedido: 10 de mayo de 2023).
- Instituto Geológico y Minero de España (sin fecha) *Visor del IGME*. Disponible en: <http://info.igme.es/visor/> (Accedido: 26 de abril de 2023).
- Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (2022) *Mapa de cultivos y superficies naturales de Castilla y León [Cartografía Digital]*. Valladolid: Infraestructura de datos espaciales de Castilla y León. Disponible en: <https://mcsncyl.itacyl.es/descarga> (Accedido: 12 de mayo de 2023).
- Junta de Castilla y León (2010) *MAPA TOPOGRÁFICO DE CASTILLA Y LEÓN 1:5.000 [Cartografía Digital]*. Valladolid: Infraestructura de datos espaciales de Castilla y León. Disponible en: <https://cartografia.jcyl.es/web/es/datos-servicios/mapa-topografico-15000.html> (Accedido: 3 de abril de 2023).
- Junta de Castilla y León (2010) *MAPA TOPOGRÁFICO DE CASTILLA Y LEÓN 1:10.000 [Cartografía Digital]*. Valladolid: Infraestructura de datos espaciales de Castilla y León. Disponible en: <https://cartografia.jcyl.es/web/es/datos-servicios/mapa-topografico-110000.html> (Accedido: 3 de abril de 2023).
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (sin fecha) *Banco de Datos de la Naturaleza (BDN)*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/default.aspx> (Accedido: 10 de marzo de 2023).
- Servidor de Catálogo de la Confederación Hidrográfica del Duero. Disponible en: <https://mirame.chduero.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home> (Accedido: 15 de mayo de 2023).
- Warren Thornthwaite, C. (1948) "An Approach toward a Rational Classification of Climate" *Geographical Review*, 38, pp. 55-94.